



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR

D'ENGINYERIA AGRÀRIA

Universitat de Lleida

Departament Agroforestal



ESTUDI DE L'EFICIÈNCIA ENERGÈTICA
DEL SECTOR "D" DE LA COMUNITAT DE
REGANTS DE CARRASSUMADA
(TORRES DE SEGRE)

Projecte Final de Carrera

Enginyeria Agronòmica

Setembre - 2010

AUTOR: Josep Sala Solé

ORIENTACIÓ: Enginyeria Rural

PLA: 2001

TUTOR: Joaquim Monserrat Viscarri

Agraïments

A la meva família pel suport que m'han donat durant tots aquests anys de carrera, al tutor del projecte per guiar-me en aquesta etapa final dels estudis universitaris i a la Comunitat de Regants de Carrassumada per haver-me facilitat les dades necessàries per a dur a terme aquest projecte.

Resum

El present Projecte Final de Carrera, que porta per títol Estudi de l'eficiència energètica del sector "D" de la Comunitat de Regants de Carrassumada (Torres de Segre), pretén trobar un ús adequat de l'aigua i de l'energia a través de la gestió racional dels diferents sistemes de reg amb dissenys d'instal·lacions i de maneig realitzats amb criteris d'estalvi i eficiència energètica. Aquest tipus de desenvolupament sostenible del regadiu implica un treball orientat a l'anàlisi de la situació actual i a la cerca de mesures que ajudin a millorar-la. Mitjançant una sèrie d'indicadors s'han analitzat els diferents components de les instal·lacions per tal d'identificar els punts crítics i plantejar les mesures de millora convenients. A més a més, s'ha estudiat l'impacte que aquestes mesures suposarien, així com la seva viabilitat econòmica i tècnica per a dur-les a terme.

Índex

MEMÒRIA	1
1. Introducció	2
2. Definició dels objectius	5
3. Antecedents	6
4. Zona d'estudi	12
4.1. Infraestructures generals	13
4.1.1. Captació i estació de bombament inferior	14
4.1.2. Canonada d'impulsió	15
4.1.3. Bassa d'emmagatzematge	15
4.1.4. Pou de filtratge	15
4.1.5. Estació de bombament superior	16
4.1.6. Xarxa de distribució	18
4.1.7. Automatització i control	18
4.2. Sector "D"	21
5. Metodologia	23
5.1. Obtenció de les dades	23
5.2. Modelització de les bombes	26
5.2.1. Bombes connectades en paral·lel	27
5.2.2. Variació del règim de gir	28
5.2.3. Modificació del diàmetre del rodet	29
5.3. Eficiència energètica general	29
5.3.1. Eficiència energètica del bombament	30
5.3.2. Eficiència del subministrament energètic	32
6. Avaluació	35
6.1. Situació actual	35
6.1.1. Funcionament de les bombes	35
6.1.2. Organització de la demanda	36
6.1.3. Indicadors	37
6.2. Funció de densitat	38
6.3. Corbes característiques de les bombes	41
6.3.1. Corbes característiques teòriques de les bombes	41
6.3.2. Corbes característiques experimentals de la instal·lació	45
6.4. Eficiència energètica general	47

Estudi de l'eficiència energètica del sector "D" de la CCRR de Carrassumada	Índex
6.4.1. Eficiència energètica del bombament	47
6.4.2. Eficiència del subministrament energètic	50
6.4.3. Eficiència energètica general	50
6.5. Factor de potència	51
7. Propostes de millora	53
7.1. Evitar cabals inferiors als 50 l/s	54
7.2. Canviar el maneig de les bombes	55
7.3. Torns amb la mateixa demanda energètica	56
7.4. Assignar la pressió de consigna en funció dels hidrants oberts	59
7.5. Ajustar la pressió de consigna a les necessitats actuals de les parcel·les	60
8. Resum	62
9. Conclusions	65
ANNEXES	66
Annex 1: Característiques tècniques de les instal·lacions	67
Annex 2: Parcel·les del sector "D"	69
Annex 3: Pressió requerida abans de l'hydrant i l'altura manomètrica requerida per les parcel·les	71
Annex 4: Corbes característiques de les bomba	73
Annex 5: Proposta de torns de reg	74
Alternativa 1	74
Alternativa 2	76
Annex 6: Metodologia utilitzada en la proposta 4 per estimar la pressió de consigna	78
Annex 7: Sondejos	81
PLÀNOLS	82
Plànol 1: Situació i emplaçament	83
Plànol 2: Comunitat de Regants de Carrassumada	84
Plànol 3: Estació de bombament superior	85
Plànol 3: Bombes del sector "D"	86
BIBLIOGRAFIA	87

Índex de figures

Fig. 1. Situació de la comunitat de regants de Carrassumada (color blau)	12
Fig. 2. Superfície de cada sector (ha)	12
Fig. 3. Consum d'aigua l'any 2008 (m^3)	12
Fig. 4. Croquis de les infraestructures	13
Fig. 5. Estació de bombament superior	17
Fig. 6. Instantània del software SCADA.....	20
Fig. 7. Hidrant equipat amb una RTU	20
Fig. 8. Consum d'aigua mensual en el sector "D" l'any 2008.....	21
Fig. 9. Distribució dels cultius en funció de la superfície l'any 2008	21
Fig. 10. Cabalímetre.....	24
Fig. 11. Transductor de pressió.....	24
Fig. 12. Histograma general dels cabals subministrats el 2008.....	39
Fig. 13 Histograma dels cabals subministrats per una bomba (tant si funciona sola com en paral·lel) el 2008.....	39
Fig. 14. Comparació dels histogrames del cabal de 1 i 2 bombes de l'any 2008.....	39
Fig. 15. Ajust de les corbes característiques	41
Fig. 16. Corbes característiques d'una bomba sola i en paral·lel a 1450 rpm.....	42
Fig. 17. Comportament teòric d'una bomba variant el règim de gir	43
Fig. 18. Comportament teòric de dues bombes en paral·lel variant el règim de gir	44
Fig. 19. Pressions en funció del cabal	45
Fig. 20. Potències consumides en funció del cabal	46
Fig. 21. Rendiment general en funció del cabal subministrat	48
Fig. 22. Rendiment en funció del cabal quan només funciona 1 bomba	48
Fig. 23. Rendiment en funció del cabal quan funcionen les 2 bombes en paral·lel.....	48
Fig. 24. Triangle de potències.....	51
Fig. 25. Factor de potència en funció del cabal subministrat.....	52
Fig. 26. Funcionament proposat eliminant els cabals < 50 l/s	54
Fig. 27. Punt òptim de canvi d'una a dos bombes en paral·lel.....	55
Fig. 28. Altura manomètrica en funció dels hidrants oberts i freqüència relativa	59
Fig. 29. Freqüència relativa i acumulada de H_m requerida en els hidrants del sector "D"	71
Fig. 30. Corbes característiques de les bombes a 1450 rpm i 900 rpm	73
Fig. 31. Sondejors de la Serra de Carrassumada.....	81

Índex de taules

Taula 1. Consum energètic, font IDAE 2005.....	3
Taula 2. Exemples d'indicadors proposats en el protocol d'auditories energètiques	8
Taula 3. Característiques dels diferents sectors	18
Taula 4. Lectures recopilades	23
Taula 5. Indicadors del sector "D", any 2008	38
Taula 6. Qualificació energètica en funció de EEB, font IDAE	49
Taula 7. Qualificació energètica en funció de EEG, font IDAE	50
Taula 8. Torns amb la mateixa demanda energètica.....	57
Taula 9. Torns amb la mateixa demanda energètica en el mes d'agost	58
Taula 10. Quadre resum de les propostes de millora plantejades.....	63
Taula 11. Característiques tècniques de la xarxa de reg.....	67
Taula 12. Característiques tècniques de les estacions de bombament	68
Taula 13. Parcel·les sector "D"	69
Taula 14. Freqüència acumulada de les pressions seleccionades en la proposta 7.3.....	72
Taula 15. Proposta de torns de reg alternativa 1	74
Taula 16 Proposta de torns de reg alternativa 2.....	76
Taula 17. Metodologia utilitzada per estimar la pressió de consigna	78
Taula 18 Altura manomètrica assignada a cada grup.....	79
Taula 19. Freqüència relativa de cada grup.....	79
Taula 20. Energia consumida per a cada grup	80

MEMÒRIA

1. Introducció

L'energia juntament amb l'aigua es considera un dels recursos essencials pel desenvolupament econòmic i mediambiental d'un territori. Per la qual cosa, el seu ús, aprofitament i gestió eficients estan prioritzats en les polítiques europees i nacionals.

Actualment, el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) està aplicant el Pla d'Acció 2008-2012 de l'Estratègia d'Estalvi i Eficiència Energètica a Espanya, que suposa mesures de control en quant al consum d'energia pel compliment del Protocol de Kyoto, segons el que s'adjudica al nostre país un marge de creixement de les emissions de gasos d'efecte hivernacle del 15% en el període 2008-2012 respecte l'any 1990, percentatge que Espanya ja ha superat àmpliament, per la qual cosa no podrà complir.

Segons dades del Ministeri d'Indústria (2006) el consum d'energia elèctrica associat a les tarifes de Regs Agrícoles va ser de 2.923 GWh, el 1,16 % del total del consum net nacional amb una facturació superior als 216 M€.

Observant la trajectòria del consum energètic en les estacions de bombament del regadiu espanyol, es preveu que tendeixi a augmentar el consum d'energia elèctrica i a disminuir el consum de gasoil, principalment pel major increment del preu d'aquest respecte a l'electricitat. Segons el IDAE, l'any 2001 el 75% de l'energia demandada per les instal·lacions de reg era coberta per energia elèctrica i es preveu que l'any 2012 arribi al 95% de l'energia total consumida en les instal·lacions de reg.

El consum energètic total de les estacions de bombament durant l'any 1995 es va estimar en 837 ktep¹, xifra que tendeix a l'alça i que es quantifica en un increment pròxim al 70% pel període 2001 – 2012, segons el pla d'Acció 2008 - 2012.

¹ Tep: Tona equivalent de petroli és una unitat d'energia equivalent a 41.868.000.00 Juls o 11.630 kWh

Aquest augment notable del consum energètic es degut a:

- La modernització i substitució de les xarxes de distribució obertes per xarxes pressuritzades. Les quals requereixen la construcció de noves estacions de bombament amb el conseqüent increment del consum energètic.
- L'augment progressiu de la superfície de reg.
- El dimensionament inadequat de les instal·lacions, degut a què van ser dissenyades per a sistemes de reg per aspersió que progressivament s'han substituït per regs localitzats amb menors requeriments energètics².
- La incorrecta gestió de les instal·lacions.

Taula 1. Consum energètic, font IDAE 2005.

Consum energètic (ktep)		1995
Bombament regadiu	Gasoil	224
	Energia elèctrica	613
Treballs agrícoles		424
Total		1261

L'augment progressiu del preu de l'energia és un factor important a considerar en una comunitat de regants tenint en compte l'increment del consum energètic en aquestes. El recent canvi en el mercat energètic de l'any 2008 a suposat passar d'un mercat amb tarifes regulades, on els preus eren establerts pel govern, a un mercat lliure en el qual els consumidors poden establir contractes bilaterals amb

² En els sistemes de degoteig, la pressió necessària a l'entrada de la parcel·la oscil·la entre els 2,5–3 bars i en un reg per aspersió és de 4–4,5 bars, a més a més, d'un major consum de cabal. En general, el consum energètic d'un reg per aspersió pot ser un 20% superior al consum d'un reg per degoteig. Font IDAE, Ahorro y eficiencia energética en las Comunidades de Regantes.

les empreses comercialitzadores o directament amb les productores. Aquest canvi s'ha traduït amb la conseqüent eliminació de les tarifes especials per a Regs Agrícoles i ha suposat un increment en el terme de potència del 224%.

S'ha arribat el punt, que en l'actualitat els costos energètics representen entre el 20 i el 30% dels costos totals de l'agricultura de regadiu i presenten una tendència creixent, segons Blanco Pérez, et al, 2009. Per aquest motiu i al ser un recurs limitat, però també per a controlar i disminuir la contaminació que es deriva de la producció d'aquesta energia, l'optimització de l'ús de l'energia és tant important com aconseguir un ús eficient de la distribució de l'aigua de reg.

2. Definició dels objectius

El present projecte es centra en avaluar energèticament el sector "D" de la Comunitat de Regants (CCRR) de Carrassumada per tal d'identificar els punts febles i de menor eficiència energètica amb la finalitat de proposar les mesures de millora oportunes per tal d'incrementar l'eficiència i reduir els costos d'explotació.

Aquestes mesures seran simulades per quantificar i avaluar l'impacte energètic i econòmic que provocaria la seva implantació en el sistema, per tal d'estudiar-ne la seva viabilitat.

Seguint aquesta línia de treball, es troben els següents objectius específics:

- Diagnosticar el funcionament dels equips de bombament.
- Analitzar l'ús energètic del disseny i del maneig del sector "D".
- Identificar i estudiar els punts crítics de menor eficiència.
- Proposar mesures de millora per tal d'incrementar l'eficiència energètica.
- Simular les mesures de millora proposades, estudiar-ne el seu impacte econòmic i la seva viabilitat tècnica i econòmica.

3. Antecedents

El "Instituto de Diversificación y Ahorro de la Energía" (IDAE) amb la col·laboració del Ministeri d'Agricultura, Pesca i Alimentació està realitzant una sèrie d'accions en matèria de formació, informació i difusió de tècniques i tecnologies d'eficiència energètica. Una d'aquestes accions ha estat el desenvolupament d'una col·lecció en matèria d'eficiència energètica en el sector agrari titulada "*Ahorro y Eficiencia Energética en la Agricultura*" composta, fins al moment, de 15 documents tècnics dels quals els més rellevants respecte la temàtica del present treball són:

- Document nº 2: "*Ahorro y Eficiencia Energética en Agricultura de Regadío*".
- Document nº 9: "*Ahorro y Eficiencia Energética en las Comunidades de Regantes*".
- Document nº 10: "*Protocolo de Auditoría Energética en Comunidades de Regantes*".

En la publicació "*Ahorro y eficiencia energética en la agricultura de regadío*" es planteja un seguit de possibles actuacions amb la finalitat d'aconseguir un ús eficient de l'aigua en els regadius, de les quals les més rellevants són:

- Introducció de noves tecnologies de reg més eficients.
- Creació de Serveis d'Assessorament al Regant (SAR).
- Formació dels regants amb les noves tecnologies i aspectes ambientals.
- Ús de tarifes binòmies (volums - superfícies) amb penalitzacions per a excessos.
- Millora de les regulacions internes, en basses i en els propis canals.
- Millora de les xarxes de transport i distribució.
- Millora dels sistemes de gestió administrativa en les comunitats de regants.
- Millora dels sistemes d'explotació d'embassaments amb avaluació en temps real de les necessitats de l'aigua dels cultius

En la mateixa publicació, també s'especifica una sèrie de metodologies a tenir en compte per tal d'incrementar l'eficiència energètica:

- Introducció de variadors de freqüència.
- Millora dels rendiments en els equips d'impulsió.
- Automatització dels sistemes de comandament, maniobra i control.
- Disseny de xarxes optimitzades energèticament.
- Millora del factor de potència.
- Elecció de la tarifa més adequada.

Segons el dossier "*Ahorro y eficiencia energética en las comunidades de regantes*", hi ha dos línies d'actuació per estalviar i millorar l'eficiència energètica d'una comunitat de regants, una orientada en el disseny i maneig de les instal·lacions i l'altra centrada en els equips de bombament. Les mesures proposades referents a l'estalvi i eficiència energètica en el disseny i maneig de les instal·lacions són les següents:

- Dividir les instal·lacions per sectors de cota homogènia.
- Reorganitzar el repartiment de l'aigua amb torns de la mateixa demanda energètica.
- Automatització de les instal·lacions col·lectives amb sondes de pressió en punts crítics.
- Establir un protocol de manteniment periòdic de les instal·lacions.
- Canviar el maneig de les instal·lacions en funció de les noves necessitats.

Les propostes orientades a estalviar i millorar l'eficiència energètica en els equips de bombament són:

- Dimensionar els equips de bombament per a cabals de funcionament habituals de la instal·lació.
- Instal·lació de petits grups de bombament en paral·lel amb almenys dos bombes de velocitat variable.
- Instal·lar equips de control electrònic com arrencadors estàtics.
- Simulació de posada en marxa dels grups de bombament en funció de la demanda real.
- Millores en el factor de potència dels equips.
- Revisió i manteniment periòdics dels equips.
- Canvi del maneig dels equips segons les necessitats.

El "*Protocolo de Auditoría Energética en Comunidades de Regantes*" defineix un procediment a seguir per dur a terme un anàlisi exhaustiu del funcionament i dels consums dels equips de bombament, així com del maneig del sistema de distribució. Es defineixen una sèrie d'indicadors de gestió de l'energia que serveixen per a poder avaluar energèticament la situació actual d'una comunitat de regants i poder-la comparar amb la seva evolució en el temps, així com amb d'altres comunitats de regants de característiques similars.

La qualificació energètica d'una Comunitat de Regants es defineix per la seva eficiència general, composta per dos indicadors principals: l'eficiència energètica dels bombaments i l'eficiència de subministrament energètic. El primer d'aquests depèn del rendiment dels equips de bombament i relaciona la potència hidràulica subministrada per les bombes i la potència elèctrica absorbida per aquestes. El segon depèn de la distribució espacial, disseny i maneig del sistema de distribució. A continuació es presenta una taula amb exemples dels indicadors proposats pel IDAE.

Taula 2. Exemples d'indicadors proposats en el protocol d'auditories energètiques

Indicador	Fórmula
Eficiència de distribució	$\frac{\text{Volum total d'aigua subministrada}}{\text{Volum total d'aigua que entra al sistema}}$
Eficiència del grup electrogen (EGE)	$\frac{\text{Energia activa mitja}}{\text{Energia consumida del grup electrogen}}$
Eficiència energètica del bombament (EEB)	$\frac{\text{Potència subministrada}}{\text{Potència consumida}}$
Índex de dependència energètica (IDE)	$\frac{\text{Volum total bombejat}}{\text{Volum d'aigua que entra al sistema}}$
Índex de càrrega energètica (ICE)	$\frac{\sum V_i \cdot H_i}{\text{Volum d'aigua que entra al sistema}}$
Eficiència de subministrament energètic (ESE)	$\frac{ \Delta E }{ICE} \text{ Si } \Delta E > 0$
Eficiència energètica general de la CR (EEG)	$EEG = EEB \cdot ESE$

En els apartats posteriors s'explica més exhaustivament els indicadors utilitzats en aquest treball.

En l'estudi "*Análisis de la eficiencia energética en el uso el agua de riego en comunidades de regantes de Andalucía*" (Blanco et al., 2008) es va analitzar l'ús conjunt de l'aigua i de l'energia en 10 comunitats de regants amb xarxes pressuritzades. Per la caracterització es van utilitzar una sèrie d'indicadors de gestió i d'energia entre els quals es troben els plantejats pel IDAE. D'aquest estudi se n'extreu que el consum energètic d'una zona regable depèn de múltiples factors com l'ús de l'aigua, la rotació dels cultius, les característiques de l'estació de bombament, així com de l'altura de subministrament de l'aigua. També es ressalta la necessitat i la importància de fer estudis energètics de més envergadura en els regadius espanyols, que permetin millorar el consum i cost energètic que suposa pels agricultors.

Estudis similars al present projecte, com per exemple "*Eficiencia energética en la comunidad de regantes de Fuente Palmera*" (Carrillo Cobo et al., 2009) posen de manifest que entre les alternatives plantejades per a millorar l'eficiència energètica d'una comunitat de regants, els resultats més òptims s'obtenen quan la xarxa es sectoritza, reorganitzant els torns de reg i agrupant en cada torn sectors homogenis en funció de la cota de cada hidrant. Els resultats van indicar que es pot reduir la potència al voltant d'un 20% i l'estalvi econòmic un 40%, només reorganitzant la demanda en dos torns de reg i sense la necessitat de realitzar cap inversió important en la comunitat.

Des de la Generalitat de Catalunya, a través del Institut Català d'Energia i mitjançant el programa d'assessorament energètic es va dur a terme un estudi d'avaluació energètica de la Comunitat de Regants de Carrassumada mitjançant les dades corresponents a l'any 2006. Aquest estudi es va centrar principalment en temes de facturació energètica (potències contractades, tipus de tarifa, etc). La diagnosi final va ser que les instal·lacions són correctes amb un bon estat de manteniment destacant el correcte funcionament del sistema de control dels hidrants, els sistemes de compensació de corrent reactiva i els sistemes d'arrencada / variadors de freqüència de les bombes. D'altra banda les mesures plantejades en l'estudi en qüestió van ser:

- Millora del sistema de filtratge de l'aigua en l'entrada de les bombes:
 - Estació de captació: incorporar un sistema de neteja amb major velocitat i capacitat de filtratge.
 - Estació de bombament superior: canviar la malla del tamís per una amb un diàmetre inferior a un 1 mm.
- Sistema informàtic de gestió de repartiment d'aigües: Implantació d'un sistema informàtic que contempli i optimitzi els següents aspectes: peticions d'aigua per a cada regant, hores regadiu segons volums, hores de tarificació elèctrica segons contracte amb la companyia subministradora, control de cadascun dels punts de subministrament de cada regant, maquinari i instal·lacions de bombament i l'altura d'aigua a la bassa.
- Jornades formatives de conscienciació i sensibilització als agricultors: Realització d'unes jornades formatives associades a l'estalvi d'aigua pels usuaris de la comunitat de regants.
- Sistema de minimització de l'aigua evaporada en la bassa d'emmagatzematge: Cobrir la bassa d'emmagatzematge per tal d'evitar l'evaporació de l'aigua.
- Instal·lació d'un bypass a la sortida de les bombes d'impulsió de l'estació superior de bombament: Construcció d'un bypass de recirculació d'aigua bombada a la canonada d'aspiració de les pròpies bombes per tal de mantenir les bombes en el seu règim nominal i evitar arrancades i aturades innecessàries.
- Instal·lació d'una turbina hidràulica per a turbinatge diürn: En les èpoques en que no es regui, aprofitar el desnivell entre el riu i la bassa per tal de bombar aigua en les hores vall i deixar-la baixar fins a una turbina unida a un alternador per a produir electricitat en les hores punta.
- Instal·lació d'una planta de producció d'electricitat a partir de biomassa: Utilitzar la biomassa procedent de les restes de poda produïdes en les parcel·les de la comunitat de regants o inclús d'una agrupació de comunitats, per tal de produir energia tèrmica, la qual mitjançant una turbina de vapor es transformaria en electricitat.
- Factura elèctrica: Comparació entre diferents tipus de contractació de l'energia elèctrica.

Les característiques i dades tècniques, necessàries per elaborar el present estudi, han estat consultades i extretes dels projectes elaborats per Regs de Catalunya S.A. (REGSA), més concretament del "Projecte M-1 de transformació en regadiu de la zona de concentració parcel·lària de Torres de Segre" elaborat l'any 2001, "Projecte M-2 de transformació en regadiu de la zona de concentració parcel·lària de Torres de Segre" any 2002 i de l'estat de dimensions i característiques de l'obra executada (E.D.C) "Projecte de transformació en regadiu de la zona de concentració parcel·lària de Torres de Segre. E.D.C." redactat un cop finalitzades les obres el juliol de l'any 2003. Els plànols adjunts en aquest estudi s'han extret d'aquest projectes.

4. Zona d'estudi

En aquest apartat es procedirà a descriure la comunitat de regants de Carrassumada i els diferents elements que formen les infraestructures, centrant-nos especialment en l'estació de bombament superior i en el sector "D".

La Comunitat de Regants de Carrassumada es troba ubicada en el terme municipal de Torres de Segre, al sud-oest de la província de Lleida, entre el riu Segre i l'embassament d'Utxesa a la comarca del Segrià, a uns 15 km de la ciutat de Lleida.



Fig. 1. Situació de la comunitat de regants de Carrassumada (color blau)

Les instal·lacions van entrar en funcionament l'any 2002, abastint una superfície regable de 1490 ha dividides entre 262 regants. La topografia de la zona presenta una desnivell de 91 m, amb la cota més baixa a 142 m, a la vora del canal de Seròs, i el punt més elevat a la Serra de Carrasumada, cota 233 m. Degut aquest desnivell, la comunitat de regants es divideix en quatre sectors, per tal de satisfer més eficientment les necessitats energètiques de cada parcel·la.

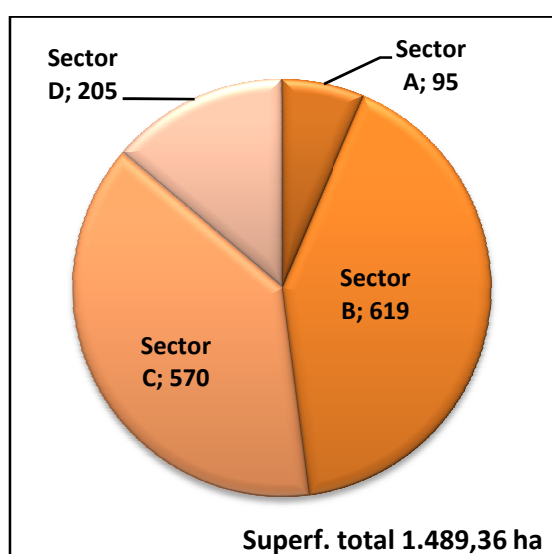


Fig. 2. Superfície de cada sector (ha)

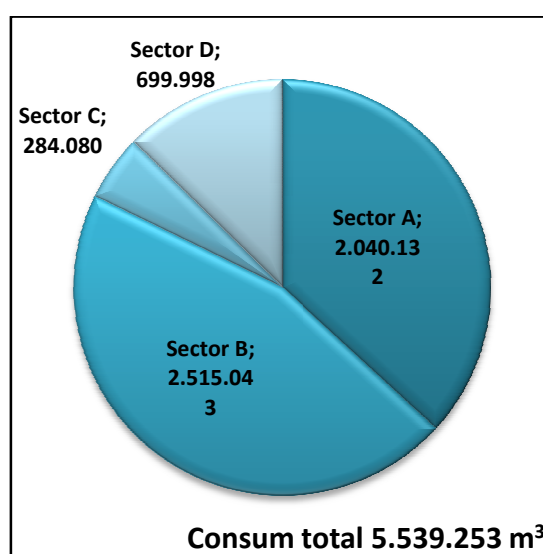


Fig. 3. Consum d'aigua l'any 2008 (m³)

La campanya de reg s'inicia a mitjans de març i s'allarga fins a finals d'octubre, amb la major demanda concentrada en els mesos de juliol i agost. L'any 2008, es van consumir un total de 5.539.253 m³ d'aigua, distribuïts pels diferents sectors tal i com es mostra en la figura 3.

4.1. Infraestructures generals

La Comunitat de Regants de Carrassumada disposa d'unes instal·lacions generals comunes per a tots els usuaris, formades per un punt de captació en el riu Segre amb una estació de bombament que subministra l'energia necessària a l'aigua per transportar-la mitjançant una canonada d'impulsió fins la bassa de d'emmagatzematge. Des de la bassa, es condueix l'aigua a l'estació de bombament superior, abans d'entrar a l'estació de bombament es sotmet a un procés de filtratge en un punt intermedi del trajecte. Posteriorment es reparteix per les parcel·les mitjançant la xarxa de distribució, la qual està organitzada a la demanda.

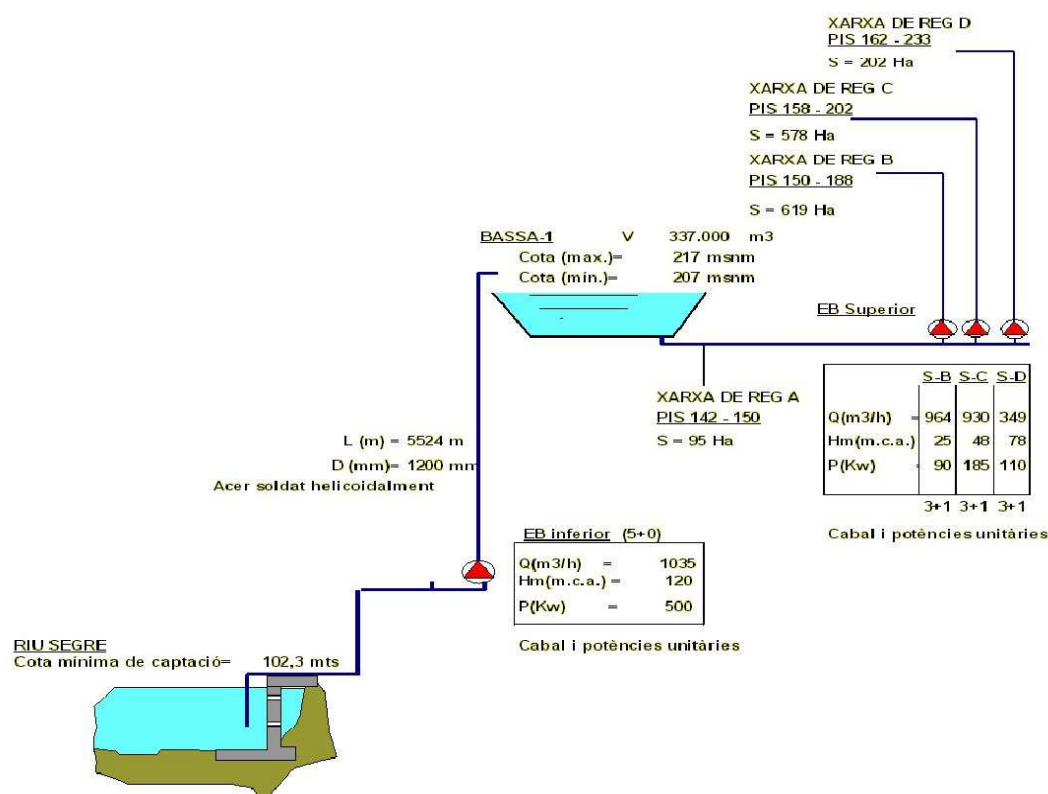


Fig. 4. Croquis de les infraestructures

Tal i com s'ha comentat en l'apartat anterior, degut a què existeix un desnivell important dintre de la comunitat de regants, aquesta es divideix en 4 sectors en funció de la cota i de la pressió requerida per cada hidrant. Per la qual cosa, l'estació de bombament també es divideix en quatre sectors i cada sector disposa d'un equip de bombament i d'una xarxa de distribució independents. La major part de les parcel·les es troben per sota de la bassa d'emmagatzematge, per aquest motiu en el sector "A" no és necessari bombejar l'aigua. En canvi en els sectors "B" i "C", tot i que existeix el desnivell suficient per a regar per gravetat, hi ha certs moments en què la demanda és elevada i és necessari bombejar-la per a garantir la pressió i cabal necessaris pel bon funcionament les instal·lacions de reg. El sector "D" és l'únic on sempre és necessari l'ús de les bombes pel subministrament de l'aigua, degut a què hi ha un nombre reduït de parcel·les per sota de la bassa però amb un desnivell insuficient per a garantir la pressió requerida i la major part es troben en cotes superiors a la bassa d'emmagatzematge.

4.1.1. Captació i estació de bombament inferior

L'obra de captació consisteix en un canal d'entrada de 10 m de longitud, que condueix l'aigua des d'un eixample natural del riu Segre fins a la fossa de captació. La pressa d'aigua està ubicada en la cota 102,50 m.

L'estació de bombament disposa d'un total de 5 bombes centrífugues verticals de turbina de la marca Ingersoll Dresser Pump (IDP) model 18 ENH amb un cabal unitari de $1.035 \text{ m}^3/\text{h}$ i una alçada manomètrica de 120,10 m a 990 rpm, connectades a uns motor de 500 kW de potència nominal cada un. A més a més, disposa d'una bomba de plenament de la canonada d'impulsió amb un cabal de $182 \text{ m}^3/\text{h}$.

En la part superior de la cambra de les bombes hi ha instal·lat el col·lector d'impulsió de $\varnothing 1200 \text{ mm}$, el qual es perllonga uns 90 m fins a connectar-se amb la canonada d'impulsió. També hi ha instal·lats 3 calderins contra cop d'ariet amb una capacitat unitària de 20.000 l.

4.1.2. Canonada d'impulsió

La canonada condueix l'aigua des de l'estació de captació, cota 110, fins a la bassa de regulació, cota 207, recorrent una distància de 5.524 m amb un desnivell de 107 m ascendents.

La canonada és d'acer soldat helicoïdalment amb juntes soldades i recobriment exterior de polietilè extruït en calent, amb un diàmetre de 1.200 mm i uns espessors de xapa de 8,70 mm des de l'inici fins a una distància de 1,700 km i de 7,90 mm la resta.

4.1.3. Bassa d'emmagatzematge

La bassa d'emmagatzematge, situada a la Serra de Carrassumada, té una capacitat de 337.715 m³. La coronació de la bassa està ubicada a la cota 218,25 i el nivell màxim d'aigua a la cota 217,00. La bassa té un tirant d'aigua de 10,00 m i una cota de fons de 207,00 m.

La bassa està impermeabilitzada mitjançant una capa d'argiles i constituïda per uns talussos aigües amunt 3H:1V (Horitzontal:Vertical) i aigües avall 2H:1V, excepte els trams on predomina el terraplè sobre el desmunt on el talús exterior és de 2'25H:1V.

La pressa d'aigua està formada per un pericó de fons i una canonada d'acer de 1.600 mm de diàmetre. El sobreeixidor de la bassa és de planta circular i està construït per una canonada d'acer de diàmetre 1.200 mm embeguda en formigó i col·locada verticalment.

4.1.4. Pou de filtratge

Per evitar possibles problemes d'obstruccions dels elements de la instal·lació (vàlvules, bombes, emissors ...), en el punt intermedi entre la bassa de regulació i l'estació de bombament superior, a 50 metres respectivament de cada element, hi ha instal·lat un pou de filtres. Aquest element de filtratge està compost per un filtre

de cadenes amb una capacitat unitària de 2.013 l/s i una malla filtrant d'acer inoxidable AISI 304 d'1,00 mm de llum. A més a més, disposa d'un sistema d'autoneteja i recollida de residus, que es posa en funcionament automàticament quan la pèrdua de carregà supera els 0,5 mca.

4.1.5. Estació de bombament superior

L'estació de bombament superior està ubicada a peu de bassa (cota 202-204), presenta unes dimensions totals de 56 metres de llargada per 26 metres d'amplada i esta formada per:

- Zona de serveis: Consta d'un taller de manteniment, el moll de descarrega i el vestuari.
- Zona de electricitat: Està format per la sala de transformadors, la sala de cabines d'alta tensió, la sala de quadres de baixa tensió, la sala de control i el subterrani per a l'allotjament de les safates pel pas de cables entre les diferents sales i les bombes.
- Zona de bombes.

L'estació de bombament és divideix en 4 sectors. El sector "A" és un sector per gravetat prenent l'aigua directament des de la bassa d'emmagatzematge sense cap bombament intermedi. Els sectors "B" i "C" són mixtes, combinant el mètode anterior amb l'ús de bombes en els moments en què la demanda ho requereixi. El sector "D", es l'únic sector on el bombament és sempre necessari per a subministrar la pressió requerida en els punts de consum.

El sector "B" disposa de 4 bombes centrífugues de cambra partida connectades amb paral·lel, 3 de principals i 1 de recanvi, de la marca IDP model 10IR-17B amb un cabal unitari de 966 m³/h i una alçada manomètrica de 25 mca. Dues bombes estan regulades mitjançant variadors de freqüència i les dues restants mitjançant arrencadors estàtics, la potència dels motors és de 90 kW unitaris. La protecció contra cop d'ariet s'assegura mitjançant un calderí hidropneumàtic de 30.000 l de capacitat.

El sector "C" disposa de 4 bombes centrífugues de cambra partida connectades amb paral·lel, 3 de principals i 1 de recanvi, de la marca IDP model 10IR-17B amb un cabal unitari de 930 m³/h i una alçada manomètrica de 48 mca. Dues bombes estan regulades mitjançant variadors de freqüència i les dues restants mitjançant arrencadors estàtics, la potència dels motors és de 185 kW unitaris. La protecció contra cop d'ariet s'assegura mitjançant un calderí hidropneumàtic de 30.00 l de capacitat.

A la figura 4, es mostra l'interior de l'estació de bombament on s'identifica de dreta a esquerra les línies dels sectors "B" "C" i "D" respectivament i al fons de la imatge el col·lector d'admissió.



Fig. 5. Estació de bombament superior

El sector "D" disposa de 4 bombes centrífugues multice·l·lular connectades eamb paral·lel, 3 de principals i 1 de recanvi, de la marca IDP model 10IR-17B amb un cabal unitari de 348 m³/h i una alçada manomètrica de 78 mca. Dues bombes estan regulades mitjançant variadors de freqüència i les dues restants mitjançant arrencadors estàtics, la potència dels motors és de 110 kW unitaris. La protecció contra cop d'ariet s'assegura mitjançant un calderí hidropneumàtic de 20.000 l de capacitat

En l'annex 1, s'adjunta una taula resum amb totes les característiques tècniques de les instal·lacions.

4.1.6. Xarxa de distribució

Com s'ha indicat anteriorment, la zona regable està dividida amb quatre sectors, atenent a criteris topogràfics i de distribució parcel·l·ària. Es garanteix una pressió mínima de 3,5 kg/cm² i una dotació de 1,5 l/s/ha en qualsevol hidrant de la xarxa, .

Les característiques de cada sector es resumeixen en la següent taula:

Taula 3. Característiques dels diferents sectors

Sector de reg	Superfície (ha)	Longitud de canonada (m)	Hidrants	Cotes (m)
Sector A	95,08	7.662	41	142-150
Sector B	618,64	21.952	115	150-188
Sector C	570,44	18.630	142	158-202
Sector D	205,20	9.525	44	162-233
TOTAL	1.489,36	57.769	342	

4.1.7. Automatització i control

La Comunitat de Regants de Carrassumada disposa d'un sistema totalment automatitzat implantat en tot el conjunt d'infraestructures, des del punt de captació fins als hidrants de les parcel·les.

4.1.7.1. Captació

El sistema disposa dels automatismes necessaris per un control totalment automàtic d'arrencada i parada de les 5 bombes en funció dels nivells de l'embassament de regulació per a poder satisfer les necessitats de reg. A més a més, controla l'estat de tots els elements imprescindibles del sistema de captació i impulsió (vàlvules, comportes, nivells, pressions, bombes...). Aquest autòmat es comunica via ràdio amb l'estació de bombament superior.

Actualment, la comunitat de regants prefereix programar les bombes per a què funcionin segons un horari preestablert, coincidint amb les hores vall on l'energia elèctrica és més econòmica. Per aquest motiu, s'ha de fer un control manual del nivell d'aigua de la bassa d'emmagatzematge per tal d'adaptar les hores de funcionament de les bombes a les necessitats d'aigua del sistema.

4.1.7.2. Estació de bombament superior

L'autòmat instal·lat en aquesta estació controla la bassa d'emmagatzematge, les comportes, el filtre de cadenes i les bombes dels sectors de reg.

La regulació de la pressió en els sectors de reg es fa mitjançant les quatre bombes instal·lades en cada un dels sectors "B", "C" i "D" (el "A" rega per gravetat). En cada sector hi ha dues bombes equipades amb variadors de freqüència capaços de modificar el seu règim de gir per tal que juntament amb les altres dos bombes connectades a arrencadors estàtics i mitjançant la combinació d'arrencades, parades i velocitat de gir es puguin ajustar en cada moment a les necessitats del sistema. La lectura de pressió es du a terme en el col·lector d'impulsió de cada sector i es transmesa a l'autòmat, el qual es comunica amb els variadors de freqüència i els arrencadors estàtics per a mantenir la pressió de consigna constant.

4.1.7.3. Xarxa de distribució

El sistema d'automatització instal·lat és jerarquitzat i de tipus distributiu, amb tres nivells funcionals i operatius connectats via cable, establint el control centralitzat de tota la xarxa de distribució fins arribar a l'hidrant.

Des d'un ordinador ubicat en l'estació de bombament superior, es controla l'obertura i el tancament dels hidrants, així com el cabal instantani en cada hidrant per a poder controlar el consum d'aigua de forma individualitzada i poder fer la seva posterior facturació.

La xarxa està formada pels següents elements:

- **Unitats terminal remotes (RTU):** Per mesurar el consum d'aigua i controlar l'obertura i tancament de cada hidrant, hi ha col·locada una unitat terminal remota a cadascuna de les vàlvules hidràuliques les quals estan dotades amb emissor de polsos.
- **Unitats concentradores:** Hi ha distribuïdes 6 unitats concentradores del tipus programador modular Irrinet de Motorola amb dos mòduls monocable cadascun. Tres d'aquestes unitats concentradores s'ubiquen a l'estació de bombament superior i la resta d'unitats concentradores a casetes col·locades al costat dels pericons, s'alimenten mitjançant plaques solars.



Fig. 7. Hidrant equipat amb una RTU

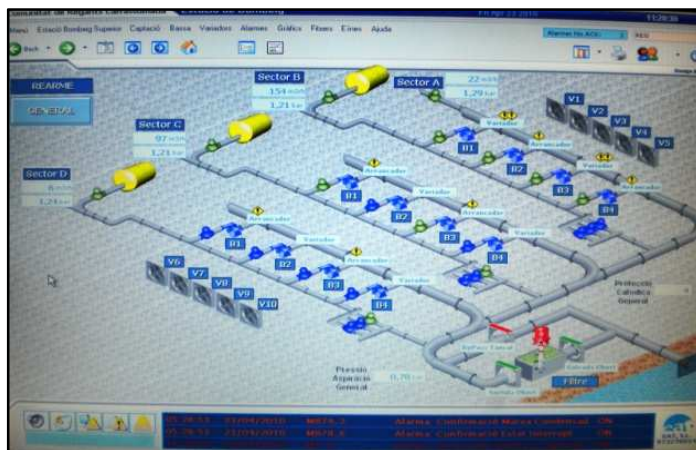


Fig. 6. Instantània del software SCADA

- **Unitat central de control:** Situada en l'edifici de l'estació de bombament superior, l'element base és un equip central tipus MIR-5000C de Motorola, format per un ordinador que permet la gestió i el control de tot el sistema gràcies al software encarregat de realitzar les lectures i el seu posterior tractament, SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition System).

El funcionament del sistema es basa en llegir les unitats concentradores o gravar programes sobre elles, ja que són aquestes unitats les que realment controlen els elements que tenen connectats mitjançant les RTU.

4.2. Sector "D"

L'estudi es centra en el sector "D", l'únic sector de reg totalment pressuritzat i al mateix temps que presenta un desnivell més pronunciat, ja que subministra aigua des de la cota 162 fins a la 233, abastant un desnivell de 71 m.

El consum total d'aigua, mesurat en els comptadors dels hidrants de les parcel·les, l'any 2008 va ser de 675.542 m³ repartits durant la campanya tal i com es mostra a la figura 8. El sistema de reg emprat en tots els cultius és el degoteig, exceptuant en el cereal on hi ha instal·lat el reg per aspersió.

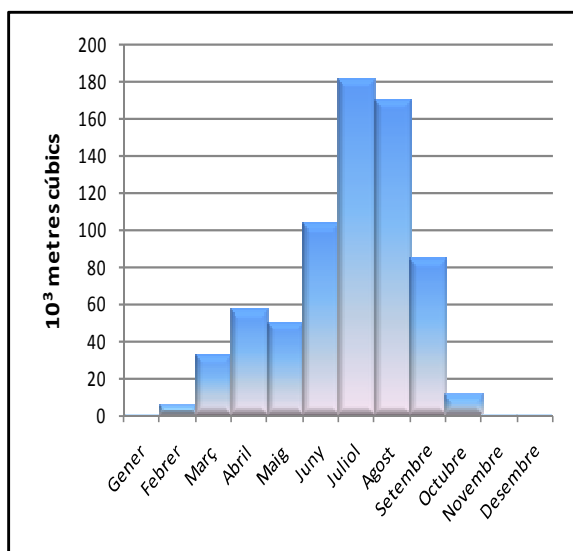


Fig. 8. Consum d'aigua mensual en el sector "D" l'any 2008

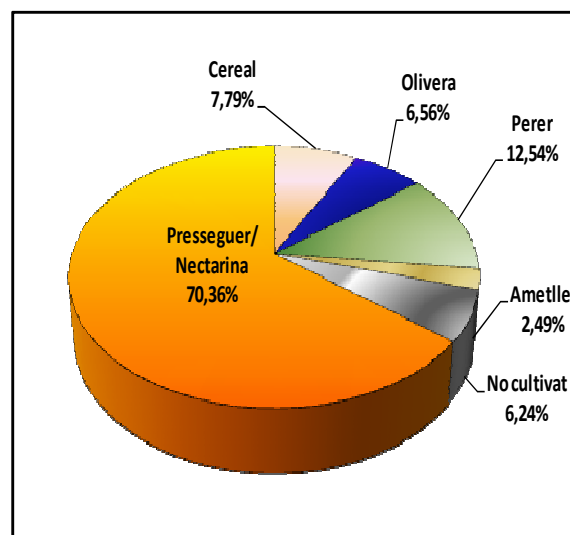


Fig. 9. Distribució dels cultius en funció de la superfície l'any 2008

Actualment, el sector "D" abasteix una superfície regable de 205,2 ha repartides en 44 parcel·les amb una àrea mitja de 4,66 ha. La parcel·la més gran té una superfície de 11,52 ha i la més petita 0,38 ha. Es cultiva 192,37 ha, és a dir, el 93,7 % de la superfície total regable i els cultius principals són el pesseguer i la nectarina seguits de la perera, el cereal, l'olivera i l'ametller, amb una proporció de superfícies tal i com es mostra a la figura 9.

El cabal de disseny del sector "D" és de 286,86 l/s, calculat per una qualitat de funcionament del 99 % i tenint en compte un reg per aspersió en totes les parcel·les. Es fixa una pressió de consigna en l'estació de bombament de 7,5 bar, per tal de cobrir les necessitats de la parcel·la més desfavorable d'aquest sector.

En l'annex 2, s'adjunta un llistat de les finques del sector "D" amb les seves característiques: superfície, cabal, cota, pressió requerida abans de l'hidrant, cultiu i el consum durant l'any 2008.

5. Metodologia

Tot seguit, s'explicarà la metodologia aplicada i els materials dels quals s'ha disposat per assolir els objectius plantejats.

5.1. Obtenció de les dades

El sistema informàtic SCADA permet la lectura de les diferents dades procedents dels sensors instal·lats en l'estació de captació, la bassa d'emmagatzematge i l'estació de bombament superior: cota de captació, nivell de la bassa, pressions, cabals, etc i en especial per aquest treball les variables descrites en la taula 4.

A més a més de fer les lectures, el sistema informàtic enregistra cada minut totes les dades procedents dels sensors en l'ordinador central situat en l'estació de bombament superior. Les dades que s'han utilitzat en aquest projecte són les corresponents a l'any 2008, ja que per problemes tècnics no es va tenir accés a dades més recents (2009).

Taula 4. Lectures recopilades

Abreviatura	Descripció	Unitats
TEN_DB2	Tensió subministrada a la bomba 2 del sector "D"	V
INT_DB2	Intensitat subministrada a la bomba 2 del sector D	A
POT_DB2	Potència activa consumida per la bomba 2 del sector "D"	kW
TEN_DB4	Tensió subministrada a la bomba 4 del sector "D"	V
INT_DB4	Intensitat subministrada a la bomba 4 del sector "D"	A
POT_DB4	Potència activa consumida per la bomba 4 del sector "D"	kW
PGNRL	Pressió en el col·lector d'entrada de l'estació de bombament	bar
PVSD	Pressió en el col·lector de sortida del sector "D"	bar
CSD	Cabal subministrat en el sector "D"	l/s

Les lectures de pressió es duen a terme mitjançant dos transductors de pressió instal·lats en el col·lector d'admissió i d'impulsió del sector "D". El model és el MBS 33 de la marca Danfoss, el seu rang de medició és de 0-10 bar i la seva precisió és $\pm 0,3 \%$ del fons d'escala ($\pm 0,03$ bar).

La lectura del cabal es realitza mitjançant un cabalímetre ultrasònic de la marca SONOFLO model Sono 31000, el seu rang de medició està condicionat per una velocitat màxima del flux de 10 m/s (DN 100 – 1200) amb una precisió del 0,5 %.

Els variadors de freqüència, marca PDL Electronics model UE-210, subministren les lectures de les variables elèctriques: tensió, intensitat i potència de cada grup motor – bomba al qual estan connectats. En la taula 4 s'observa que les dades elèctriques només corresponent a les bombes 2 i 4, això es degut a què només funcionen 2 bombes simultàniament, cal destacar que l'etiqueta "bomba 1" o "bomba 2" identifica un variador de freqüència concret enlloc d'un grup motor-bomba. En apartats posteriors s'explica el motiu d'aquest funcionament.



Fig. 10. Cabalímetre



Fig. 11. Transductor de pressió

Aquestes dades han passat per un procés de depuració i selecció per tal de poder treballar amb elles, tot seguit es descriuen els passos efectuats.

El SCADA enregistra totes les variables cada minut, la qual cosa significa que es disposa d'un nombre molt elevat de lectures, més concretament per l'any 2008 de 498.759 lectures. Aquest volum d'informació fa que el processament d'aquestes dades no sigui viable amb el software de què es disposa, per la qual cosa s'han seleccionat les dades cada 10 minuts, d'aquesta manera s'ha efectuat una criba i s'ha reduït considerablement el volum d'informació. Estudis similars a aquest duts a terme per altres autors, García, et al. 2008, han agafat intervals de temps de 15 minuts, de la mateixa manera que en el curs de gestors energètics de la Federación Nacional de Comunidades de Regantes de España (FENACORE) es recomana emmagatzema les dades de manera periòdica amb intervals inferiors de 15 minuts, per la qual cosa es considera vàlid l'interval seleccionat.

El següent pas ha estat l'eliminació de les lectures anòmales. S'ha consultat als gestors de la comunitat de regants i el cabal màxim instantani pel sector "D", amb la situació actual, és sempre inferior als 250 l/s. Per la qual cosa, dades superiors a aquest cabal es consideren anòmales. Atenent a aquesta dada, es va observar que el dia 8 de febrer hi va haver cabals instantanis de 400 l/s a les 8:50 hores i que posteriorment el dia 7 d'agost entre les 00:00 i les 07:20 es van subministrar cabals que oscil·laven entre els 275 i 286 l/s, s'ha comentat amb els gestors de la comunitat de regants i resulta que durant l'any 2008 hi va haver algun trencament de la xarxa en les dates assenyalades. Per la qual cosa, al considerar-se unes lectures que no corresponen amb el funcionament normal de les bombes s'han eliminat.

També s'ha observat que hi havia un nombre molt elevat de lectures amb cabals reduïts quan les bombes estaven parades, és a dir, que no hi havia un consum de potència. Els responsables de la comunitat de regants ens van comentar que degut a la topografia del sector "D", hi ha 3 parcel·les que per la cota on es troben ubicades poden regar sense bombament. Això es degut a que en aquestes parcel·les hi ha instal·lat un reg per degoteig i no es necessària tanta pressió com en un reg per aspersió, per tant s'obliga a regar aquestes parcel·les quan l'estació

de bombament està parada. Com que l'objectiu del present estudi es avaluar l'eficiència energètica s'han suprimit tots els instants en què les bombes estaven parades.

Al final del procés de cribatge s'han obtingut un total de 8.626 lectures per a cada variable analitzada.

5.2. Modelització de les bombes

En aquest apartat, es descriu la metodologia emprada per trobar les corbes característiques de les bombes en qualsevol velocitat de gir així com en les bombes connectades en paral·lel. Les equacions citades a continuació s'han extret de "llibre *Ingeniería Hidráulica. Aplicaciones a los sistemas de distribución de Agua*", Cabrera E., et al, 1996.

En una bomba centrífuga, l'elevació de l'aigua es produeix per un augment de la velocitat del fluid en travessar la bomba, la qual es transformarà posteriorment en energia de pressió a la sortida d'aquesta. El funcionament d'una bomba a un determinat règim de gir queda definit mitjançant les seves corbes característiques $H(Q)$, $P(Q)$ y $\eta(Q)$ (altura de elevació, potència i rendiment, en funció del cabal).

Per tal de poder operar amb aquestes corbes és necessari trobar les expressions que les defineixen, en el cas de les corbes d'altura manomètrica i de rendiment s'ajusten a les següents expressions polinòmiques:

$$H = C + B \cdot Q + D \cdot Q^2 \quad (1)$$

$$\eta = E \cdot Q - F \cdot Q^2 \quad (2)$$

On:

C, B, D, E i F són coeficients específics per a cada bomba

H = Altura manomètrica de la bomba en (mca)

η = Rendiment

Q = Cabal en (l/s)

Els coeficients de cada expressió s'extreuen de la interpolació d'una sèrie de punts de les corbes subministrades pel fabricant i ajustant-les a les funcions polinòmiques anteriors. En l'annex 4, s'adjunta les corbes característiques facilitades pel fabricant en els règims de gir de 1450 min^{-1} (nominal) i 900 min^{-1} .

Quan dues bombes tenen un funcionament dinàmic semblant, com seria el cas d'una bomba en què es varia la velocitat de gir o es modificar el diàmetre del rodet, es compleixen les anomenades lleis de semblança de les bombes, expressions 3, 4 i 5.

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} \cdot \left(\frac{\phi_1}{\phi_2} \right)^3 \quad (3)$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \cdot \left(\frac{\phi_1}{\phi_2} \right)^2 \quad (4)$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^3 \cdot \left(\frac{\phi_1}{\phi_2} \right)^5 \quad (5)$$

Sent:

Q = Cabal en (l/s)

N = Velocitat de gir en (min^{-1})

ϕ = Diàmetre del rodet en (mm)

P = Potència en (W)

5.2.1. Bombes connectades en paral·lel

Si es necessari un cabal major del que pot subministrar una bomba, aleshores es realitza una connexió en paral·lel de dos o més bombes. I es compleix que l'alçada manomètrica és igual en totes les bombes connectades i el cabal resultant és la suma dels cabals individuals. En el nostre cas, les dos bombes són iguals i treballen en el mateix règim de gir, per tant es compleix que les dues bombes subministren el mateix cabal.

Les corbes característiques de "n" bombes iguals unides en paral·lel:

$$H = C + B \cdot \frac{Q}{n} + D \cdot \left(\frac{Q}{n} \right)^2 \quad (6)$$

$$\eta = E \cdot \frac{Q}{n} - F \cdot \left(\frac{Q}{n} \right)^2 \quad (7)$$

Sent les mateixes variables definides a les equacions 1 i 2, i "n" el numero de bombes unides.

5.2.2. Variació del règim de gir

Mitjançant les lleis de semblança i basant-nos amb les corbes característiques a una determinada velocitat de gir "N₀", es poden determinar les corbes característiques en diferents velocitats de gir "N₁".

$$H = C \cdot \alpha^2 + B \cdot Q \cdot \alpha + D \cdot Q^2 \quad (8)$$

$$\eta = E \cdot \frac{Q}{\alpha} - F \cdot \frac{Q^2}{\alpha^2} \quad (9)$$

Sent les mateixes variables definides a les equacions 1 i 2, i "α" la relació de gir corresponen amb el quocient entre la velocitat de gir final (N₁) i la inicial N₀):

$$\alpha = \frac{N_1}{N_0} \quad (10)$$

S'anomena punts homòlegs de funcionament d'una bomba aquells en què variant la velocitat de gir s'aconsegueix el mateix rendiment. Combinant l'equació 3 i 4 s'arriba a:

$$H = k \cdot Q^2 \quad (11)$$

Sent les mateixes variables definides a les equacions 1 i 2, i "k" una constant característica de la bomba.

Aquesta relació ens indica que el lloc geomètric dels punts isorendiment són paràboles que passen per l'origen. D'aquesta manera és pot determinar l'àrea de funcionament acceptable d'una bomba assegurant un rendiment mínim.

5.2.3. Modificació del diàmetre del rodet

En les gràfiques característiques facilitades pel fabricant, s'observa dues corbes de pressió una per un diàmetre de rodet màxim de 371 mm i l'altra per un diàmetre mínim de 351 mm. Les bombes instal·lades en el sector "D" disposen d'un rodet de diàmetre 368 mm, per tal de troba la corba corresponent a aquest diàmetre s'ha de fer ús de les lleis de la semblança per obtenir la següent equació:

$$H = C \cdot \lambda^2 + B \cdot Q + D \cdot \frac{Q^2}{\lambda^2} \quad (12)$$

Sent les mateixes variables definides a l'equacions 1 i "λ" el quocient entre el diàmetre final i l'inicial.

La corba del rendiment també varia si es modifica el diàmetre del rodet, però com que a les corbes característiques facilitades pel fabricant no indiquen per a quin diàmetre de rodet corresponen, es considera que la seva modificació no és rellevant.

5.3. Eficiència energètica general

L'eficiència energètica general (EEG) representa el rendiment energètic de tota la xarxa de distribució de la comunitat de regants o d'un sector de reg. És la resultant de l'eficiència energètica del bombament (EEB) conjuntament amb l'eficiència del subministrament energètic (ESE) i es calcula mitjançant l'equació 13. Les equacions citades en aquest apartat han estat extretes del "*Protocolo de Auditoría Energética en Comunidades de Regantes*", IDAE. 2008:

$$EEG = EEB \cdot ESE \quad (13)$$

5.3.1. Eficiència energètica del bombament

L'eficiència energètica del bombament (EEB) es defineix com la relació entre la potència la subministrada i la absorbida, i l'expressió per a calcular-la és:

$$EEB(\%) = \frac{N_s}{N_a} \cdot 100 \quad (14)$$

Sent "Na" la potència absorbida i representa la potència activa mesurada, i "Ns" la potència subministrada i representa la potència que el bombament subministra en cada moment, la qual s'obté mitjançant l'equació 15.

$$N_s (kW) = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_m}{1000} \quad (15)$$

On:

γ = Pes específic de l'aigua (9800 N/m³)

Q = Cabal (m³/s)

H_m = Altura manomètrica subministrada per la bomba (mca)

En els bombejos l'altura manomètrica de la bomba (Hm), és la diferència entre la pressió de la sortida i la pressió de l'entrada de la bomba.

$$H_m (m) = P_s - P_e \quad (16)$$

On:

P_s = Pressió a la sortida (mca)

P_e = Pressió a l'entrada (mca)

La pressió a l'entrada de les bombes varia en funció del nivell d'aigua de la bassa de regulació, ja que aquesta té un tirant d'aigua de 10 m la qual cosa significa que la pressió a l'entrada de les bombes pot oscil·lar al llarg del temps en 1 bar. En el cas present les pressions d'entrada procedeixen del transductor de pressió instal·lat en el col·lector d'admissió, la qual cosa significa que aquesta variació ja es reflecteix en la lectura de la variable.

Per tal de trobar les pressions a l'entrada i a la sortida de la bomba, s'ha de plantejar l'equació de Bernoulli de la conservació de l'energia entre el punt on hi

ha instal·lat el transductor de pressió i la secció immediatament anterior / posterior de la bomba:

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + \Delta h \quad (17)$$

On:

z_i = Cota en "i" (m)

P_i = Pressió en "i"

v_i = Velocitat en "i" (m/s)

Δh = Pèrdua de càrrega (mca)

La pèrdua de càrrega total és el resultat de la suma de la pèrdua de càrrega lineal de la canonada (Δh_l) més les pèrdues de càrrega ocasionada pels elements singulars (Δh_s) de la instal·lació (vàlvules, unions, colzes, etc.).

$$\Delta h = \sum \Delta h_l + \sum \Delta h_s \quad (18)$$

La pèrdua de càrrega lineal es calcula mitjançant l'equació de Hazen-Williams:

$$\Delta h_l = 10,674 \cdot \frac{Q^{1,852}}{C^{1,852} \cdot D^{4,871}} \cdot L \quad (19)$$

On:

Q = Cabal (m³/s)

C = Constant en funció del material (acer 130)

D = Diàmetre (m)

L = Longitud (m)

I les pèrdues de càrrega singulars mitjançant la següent equació:

$$\Delta h_s = k \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (20)$$

On:

v_i = Velocitat en "i" (m/s)

k = Coef. pèrdua singular

5.3.2. Eficiència del subministrament energètic

L'eficiència del subministrament energètic (ESE) és un indicador que relaciona l'energia necessària a aportar al sistema i l'energia real aportada pels equips de bombament. Per tant es defineix com la relació entre l'energia demandada (ΔE) i l'energia subministrada en el bombament (ICE), tal i com es mostra en l'equació:

$$ESE (\%) = \frac{|\Delta E|}{ICE} \cdot 100 \quad (21)$$

Sent " ΔE " el balanç energètic entre l'aigua que entra al sistema i la que en surt i "ICE" l'índex de càrrega del bombament. Tot seguit, s'explica que signifiquen i com s'han calculat aquest termes.

Per calcular el balanç energètic de l'aigua bombejada s'ha de calcular l'energia inicial amb la que l'aigua entra al sistema de reg (EI) i per l'altra banda l'energia que demana el sistema de reg abastit per aquests recursos (ED), establint la diferència entre ambdues energies:

$$\Delta E = EI - ED \quad (22)$$

- Si " ΔE " és positiu: no és necessari subministrar energia addicional mitjançant els bombejos.
- Si " ΔE " és negatiu: és necessari subministrar energia addicional mitjançant els bombejos.

Sent "EI" l'energia inicial que posseeix l'aigua en els punts de captació o d'entrada en el sistema de distribució, ponderant aquesta energia pel percentatge del volum d'aigua aportat des de cada punt, tal i com es mostra en l'equació 23.

$$EI = \frac{\sum V_i \cdot (z_i + \frac{P_i}{\gamma})}{\sum V_i} \quad (23)$$

On:

EI = Energia inicial de l'aigua en els punts de captació (m)

V_i = Volum d'aigua aportat en el punt de captació "i" (m^3)

z_i = Cota del punt de captació "i" de l'aigua (m)

$\frac{P_i}{\gamma}$ = Altura de pressió de l'aigua en el punt de captació "i" (m)

Sent "ED" és l'energia demandada pel sistema de reg i depèn de la elevació de la zona i de la pressió requerida per la instal·lació de reg en parcel·la, ponderant la superfície de la parcel·la per la superfície total.

$$ED = \frac{\sum S_j \cdot (z_j + \frac{P_d}{\gamma})}{\sum S_j} \quad (24)$$

On:

ED = Energia demanda pel sistema de reg abastit (m)

S_j = Superfície demandat d'aigua que es troba a la cota "j" (ha)

z_j = Cota "j" de la zona de demanda d'aigua (m)

$\frac{P_d}{\gamma}$ = Altura de pressió de disseny demandada pel sistema de reg a la cota "j" (m)

La pressió de disseny demandada pel sistema de reg és la suma de la pressió necessària pel hidrant per satisfer les necessitats de pressió requerides per les instal·lacions de reg de la parcel·la, més les pèrdues de càrrega en el transport des del punt de captació de la comunitat de regants fins a l'hidrant.

La pressió necessària abans de l'hidrant, s'ha extret del projecte de l'obra. En l'annex 3 s'explica el procediment per a calcular-la així com les premisses adoptades per tal d'assegurar una pressió mínima de 20 mca en el punt més desfavorable de qualsevol parcel·la. En l'annex 2, hi figura la pressió necessària abans de l'hidrant així com la cota de l'hidrant per a cada una de les parcel·les del sector "D".

Segons el Protocol d'Auditories Energètiques del IDAE, les pèrdues de càrrega entre el punt de captació i l'hidrant es poden estimar en 10 mca. En el present estudi aquestes pèrdues s'han estimat en 9 mca, ja que mitjançant uns càlculs

previs on s'ha considerat que l'alçada manomètrica de les bombes és el resultat de la fórmula 25, i basant-nos en les dades del projecte de l'obra on l'altura manomètrica de les bombes del sector "D" ha de ser 75 mca per a satisfer les necessitats de la parcel·la més desfavorable del sector "D" i tenint en compte que aquesta parcel·la és la AG 306 amb una cota de 226 m i una pressió requerida abans de l'hidrant de 47 mca.. Resulta que la pèrdua de càrrega considerada en el projecte per la parcel·la més desfavorable va ser de 9 mca.

$$H_m = \frac{P_{req}}{\gamma} + \Delta z + \Delta h \quad (25)$$

On:

H_m = Altura manomètrica de les bombes (mca)

$\frac{P_{req}}{\gamma}$ = Altura de pressió requerida abans de l'hidrant (mca)

Δz = Diferència de cotes entre l'hidrant i el punt de captació (m)

Δh = Pèrdua de càrrega entre el punt de captació i l'hidrant (mca)

El terme $(z_j + \frac{P_d}{\gamma})$ de l'equació 24, determina l'energia que es necessària aportar

a l'aigua de reg per a què arribi des del punt de captació (bassa de regulació), fins al punt més desfavorable de la parcel·la amb la pressió adequada.

L'índex de carga energètica "ICE" representa l'altura mitja subministrada per les bombes sobre el volum total que entra en el sistema:

$$ICE = \frac{\sum V_k \cdot H_{mk}}{V_T} \quad (26)$$

On:

ICE = Índex de carga energètica del sector de reg (m)

V_k = Volum d'aigua bombejat pel bombament "k" (m³)

V_T = Volum total d'aigua que entra en el sector de reg (m³)

H_{mk} = Altura manomètrica mitja mesurada en el bombament "k" (m)

6. Avaluació

En aquest apartat es mostra i s'analitza els resultats obtinguts de l'aplicació de la metodologia anterior, a més a més, s'ha afegit d'altres apartats interessants per analitzar la comunitat de regants però que per la seva simplicitat no s'ha trobat necessari explicar-los anteriorment.

6.1. Situació actual

6.1.1. Funcionament de les bombes

L'estació de bombament està dissenyada per abastir totes les parcel·les de la zona regable mitjançant un reg per aspersió. Actualment, no totes les parcel·les es cultiven i quasi la majoria estan equipades amb reg per degoteig, en només 1 de les 44 parcel·les del sector "D" hi ha instal·lat un sistema de reg per aspersió. La qual cosa significa que el cabal i la pressió demandada seran molt inferiors a les previstes en el projecte inicial. El cabal de disseny del sector "D" és de 286,86 l/s, la suma dels cabals de tots els hidrants del sector "D" és de 335 l/s i si es té en compte els hidrants que l'any 2008 van consumir aigua el resultat és de només 288 l/s. En canvi el cabal màxim observat durant la campanya del 2008 va ser de 228 l/s. Degut a què la instal·lació de bombament està dissenyada per un consum superior a l'actual, només s'utilitzen dos de les quatre bombes instal·lades en el sector "D". L'empresa responsable del manteniment de les instal·lacions de la comunitat de regants s'encarrega d'alternar a mitjans de campanya el parell de bombes utilitzat, perquè totes les bombes acumulin les mateixes hores de funcionament i per tant el desgast d'aquestes sigui igual.

Les dues bombes en funcionament, sempre estan accionades mitjançant els dos variadors de freqüència que hi ha instal·lats al sector "D". El canvi de servei entre els dos parells de bombes es du a terme mitjançant l'intercanvi dels cables d'accionament de les bombes entre els variadors de freqüència i els arrencadors estàtics. D'aquesta manera les dos bombes aturades sempre estan connectades als arrencadors estàtics i les dues en funcionament als variadors de freqüència.

El sistema de funcionament de les bombes emprat s'anomena mestre – esclau, aquest sistema es caracteritza perquè el variador mestre envia els senyals d'engegada i parada als esclaus, en funció del requeriments de la xarxa de reg. La velocitat de gir de les unitats esclaves també està controlada per la unitat mestra que obliga a què totes les unitats treballin al mateix règim de gir.

La seqüència de funcionament comença quan es posa en marxa el sector, el variador de freqüència va incrementant la velocitat de la primera bomba fins arribar a la velocitat màxima i si al cap d'un temps no s'igualava la pressió de sortida amb la pressió de consigna es posa en marxa la següent. Tot seguit s'igualen les velocitats de les dues bombes situant-se en un règim suficient per a subministrar el cabal demandat. A partir d'aquest punt, les dues bombes varien la seva velocitat en paral·lel i si en algun moment el règim de funcionament baixa d'un mínim establert s'atura l'esclava i continua funcionant la mestra. El rol de mestra i esclava s'intercanvia automàticament cada vegada que es posa en funcionament el sector de reg en funció de les hores de bombament acumulades en cada bomba. Els paràmetres de la seqüència de funcionament de les bombes es varien diverses vegades durant l'any per tal d'adaptar-se a les necessitats.

6.1.2. Organització de la demanda

El sistema d'organització és una demanda concertada, això significa que els agricultors han de sol·licitar el torn de reg als gestors de la comunitat, per tal que aquests els hi obrin i tanquin els hidrants de les parcel·les. La manipulació de les vàlvules dels hidrants es fa mitjançant el sistema de telegestió controlat des de l'estació de bombament superior.

La distribució de les hores de bombament segueix les recomanacions setmanals proporcionades des de RuralCat, els quals basant-se amb les dades climatològiques i les característiques de la comunitat de regant (superfícies, cultius, etc) calculen les hores necessàries de bombament diàries. Aquestes hores s'han de duplicar, ja que les parcel·les disposen d'unes instal·lacions de reg dissenyades per a regar en dos torns. Una vegada determinat l'horari de l'estació

de bombament, s'informa als regants i aquest han de sol·licitar el torn de reg perquè el gestor de la comunitat de regants els hi obri l'hidrants. D'aquesta manera es controla que els agricultors no facin ús de l'aigua fora dels horaris estipulats.

L'estació de bombament es limita a funcionar en hores vall, quan l'energia elèctrica és més econòmica, aquest horari correspon entre setmana de 00:00 a les 8:00 i durant el cap de setmana, al considerar-se tot el temps vall, s'utilitza la franja horària de 6:00 a 12:00 hores. Com a màxim es bombeja 12 hores diàries i en èpoques en què no és suficient les 8 hores vall, es bombeja 4 hores més (15:00 a 19:00) però s'aplica una sanció en la factura del regant que utilitzi aquesta franja.

Si hi ha pocs agricultors que demanin aigua, és a dir, un cabal de bombament baix, s'intenta agrupar les peticions dels regants per tal d'assolir el cabal més gran possible i d'aquesta manera millorar l'eficiència de l'estació de bombament.

6.1.3. Indicadors

S'ha efectuat una selecció dels indicadors energètics més adients proposats en el "*Protocol d'Auditories Energètiques*" en funció de les característiques del present projecte i de la Comunitat de Regants de Carrassumada. D'aquesta manera s'han descartat alguns indicadors i en canvi d'altres s'estudiaran en els apartats posteriors d'una manera més profunda de la que es planteja en el protocol, degut a la seva importància. Els indicadors seleccionats són els següents:

- **Superfície regable (ha):** Superfície total abastida per la infraestructura.
- **Superfície regada (ha):** Superfície actual regada en la campanya en qüestió.
- **Volum d'aigua que entra en el sistema (m³):** Quantitat total d'aigua que entra en l'estació de bombament superior, sector "D".
- **Volum d'aigua subministrada als usuaris (m³):** Quantitat mesurada en el hidrant.

- **Subministrament d'aigua per unitat d'àrea regable (m^3/ha):** Volum total que entra al sistema dividida per la superfície abastida.
- **Subministrament d'aigua per unitat d'àrea regada (m^3/ha):** Volum total que entra al sistema dividida per la superfície de reg actual.
- **Eficiència de distribució:** És la relació entre l'aigua que entra al sistema, mesurada en el col·lector d'impulsió de les bombes, respecte l'aigua subministrada als usuaris, mesurada en els comptadors dels hidrants, i ens dóna una idea de les pèrdues d'aigua degudes a les fuites de la xarxa de distribució. Aquesta pèrdua d'aigua és directament proporcional a la pèrdua d'energia, ja que aquesta aigua ha estat prèviament bombejada amb el corresponent consum d'energia no aprofitada.

Taula 5. Indicadors del sector "D", any 2008

Superfície regable (ha)	205,2
Superfície regada (ha)	192,4
Volum d'aigua que entra al sistema (m^3)	699.998
Volum d'aigua subministrada als usuaris (m^3)	675.542
Aigua subministrada per unitat d'àrea regable (m^3/ha)	3292,11
Aigua subministrada per unitat d'àrea regada (m^3/ha)	3511,13
Eficiència de distribució ^{3 4}	96,5

6.2. Funció de densitat

S'ha procedit a caracteritzar la funció de densitat, que representa la distribució dels cabals acumulats durant tota la temporada. Aquesta demanda s'ha dividit en intervals cada 10 l/s, obtenint d'aquesta manera la freqüència amb que es dóna cada un d'aquests rangs de cabal.

³ En aquesta eficiència intervé la precisió dels aparells

⁴ Segons els gestors de la comunitat de regants l'eficiència des del punt de captació fins a la bassa de regulació és del 96 %.

S'ha tingut en compte que el cabal pot ser subministrat per una bomba o dues bombes funcionant en paral·lel, depenent del cabal demandat. Per la qual cosa, s'ha elaborat un histograma general on s'inclouen tots els cabals, fig. 12 i un altre histograma on es diferencia els cabals subministrats quan només funciona una bomba o en canvi, ho fan les dues en paral·lel, fig. 14.

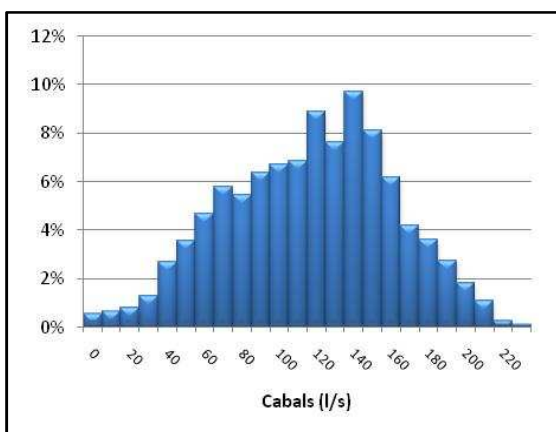


Fig. 12. Histograma general dels cabals subministrats el 2008

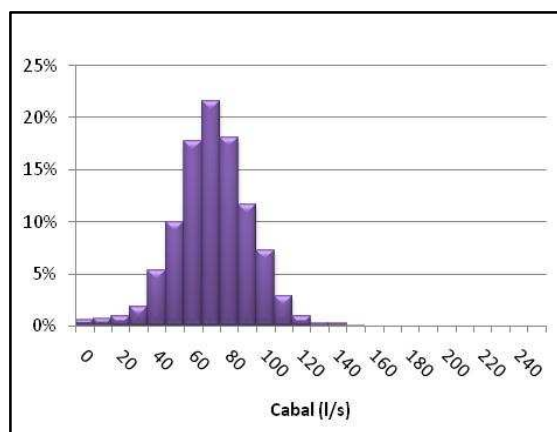


Fig. 13 Histograma dels cabals subministrats per una bomba (tant si funciona sola com en paral·lel) el 2008

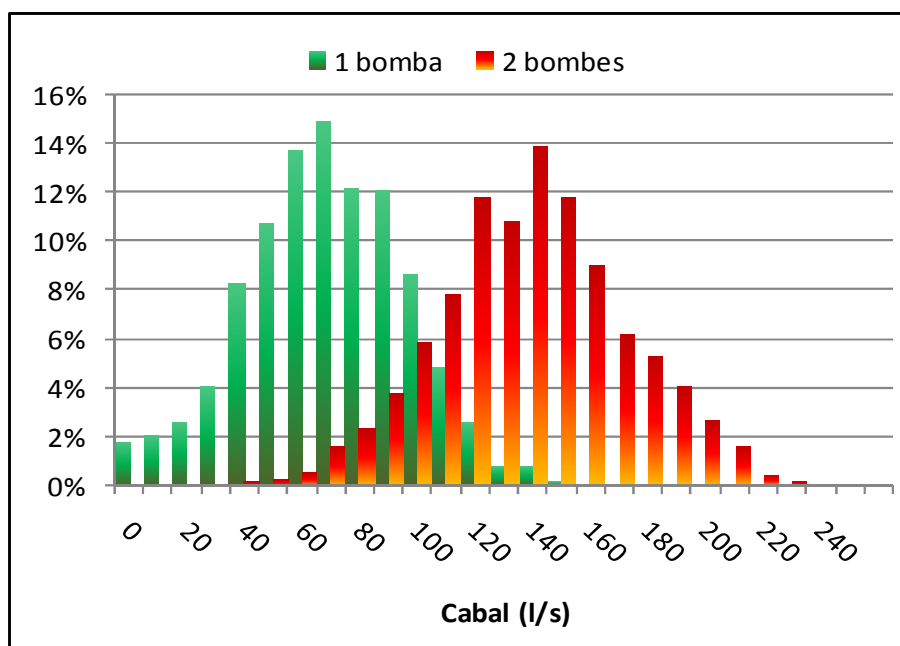


Fig. 14. Comparació dels histogrammes del cabal de 1 i 2 bombes de l'any 2008

Observant el funcionament de les bombes s'ha obtingut que el 31,6 % de les vegades només treballa una bomba i el 68,41 % restant ho fan les dues.

El cabal mig l'any 2008 va ser de 112,4 l/s amb una desviació estàndard de 44,7 i un cabal màxim de 228 l/s.

En els períodes en què només funcionava 1 bomba el cabal mig va ser de 64,8 l/s, la desviació estàndard 27,4 i el cabal màxim de 147 l/s. En canvi, quan funcionaven les dues bombes el cabal mig va ser de 134,3 l/s i la desviació estàndard de 32,4.

Tenint en compte que quan funcionen les dues bombes ho fan en el mateix règim de gir i per tant el cabal subministrat per cada bomba és la meitat del cabal total, s'ha elaborat un altre histograma unint els cabals corresponents a quan només funciona una bomba amb els cabals pertanyents a una bomba quan funcionen les dos en paral·lel (la meitat del cabal total), aquest histograma es reflexa en la figura 13. Per la qual cosa, el cabal mig real d'una bomba és de 66,4 l/s amb una desviació estàndard de 20,4 i un cabal màxim de 147 l/s. De la funció de densitat s'extreu que els cabals més freqüents d'una bomba són en l'interval comprès entre 60–90 l/s que apareixen amb una freqüència pròxima del 70 %.

El cabal nominal d'una bomba és de 348 m³/h (96,7 l/s) un 45 % superior al cabal mig, la qual cosa significa que la major part del temps les bombes no treballen en el règim òptim per obtenir el màxim rendiment energètic. També s'ha de destacar que els 147 l/s queda molt per sobre del cabal nominal. Encara que no té massa importància, ja què l'interval comprès entre els 110-150 l/s apareix només el 4,36 % de les vegades.

6.3. Corbes característiques de les bombes

6.3.1. Corbes característiques teòriques de les bombes

En aquest apart s'han determinat els paràmetres de les corbes característiques i s'ha analitzat el seu funcionament amb els variadors de freqüència i connectades en paral·lel.

Ajustant els punts (Q,H) i (Q,η) extrets de les corbes facilitades pel fabricant (annex 4) de la figura 15 a les equacions 1 i 2 respectivament, s'han obtingut les funcions polinòmiques que defineix aquestes corbes en el règim de gir nominal de 1450 rpm.

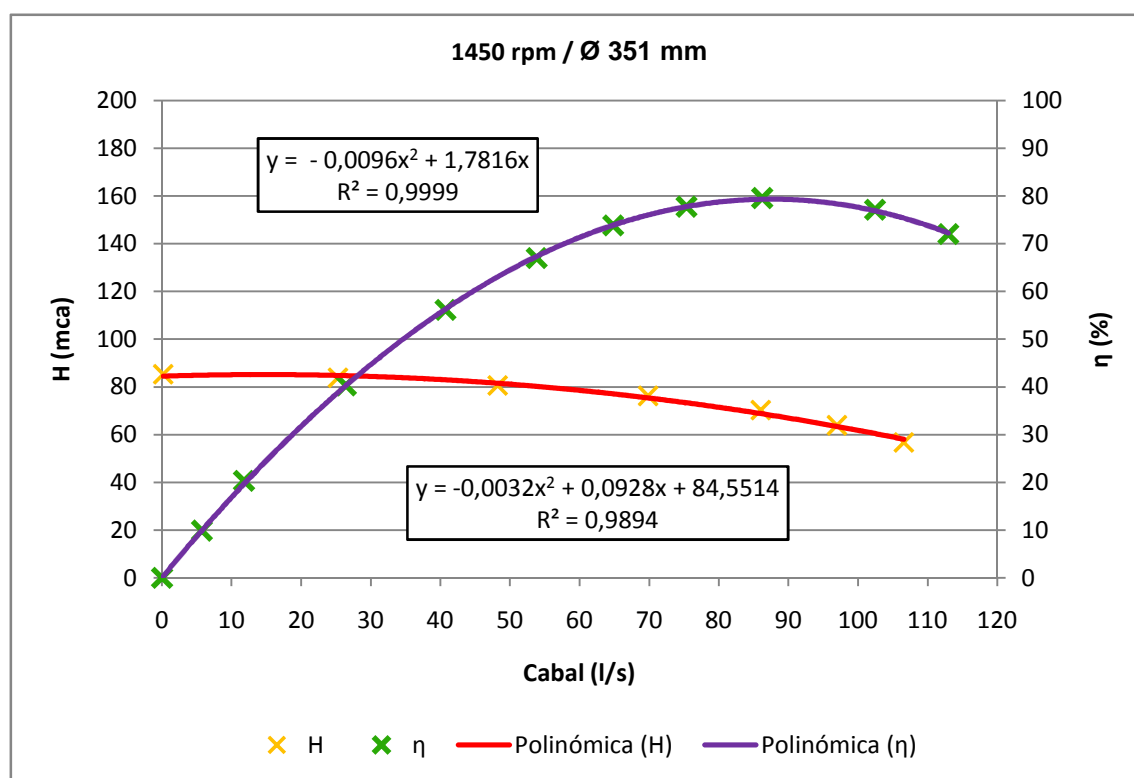


Fig. 15. Ajust de les corbes característiques

El rendiment màxim és del 82,7 % amb un cabal de 92,8 l/s i una altura manomètrica de 65,6 mca.

Aplicant les equacions 8 i 12, per trobar la funció que defineix l'altura manomètrica de la bomba amb un rodet de diàmetre 368 mm en funció del cabal i de la relació de gir " α ", s'obté la següent expressió:

$$H = 92,94 \cdot \alpha^2 + 0,0928 \cdot Q \cdot \alpha - 0,00291 \cdot Q^2 \quad (27)$$

En el cas del rendiment l'equació resultant seria:

$$\eta = 1,7816 \cdot \frac{Q}{\alpha} - 0,0096 \cdot \frac{Q^2}{\alpha^2} \quad (28)$$

Si les dos bombes treballen en paral·lel les equacions de les corbes característiques són:

$$H = 92,94 \alpha^2 + 0,0464 Q \cdot \alpha - 0,0007275 Q^2 \quad (29)$$

$$\eta = 0,8908 \cdot \frac{Q}{\alpha} - 0,0024 \cdot \frac{Q^2}{\alpha^2} \quad (30)$$

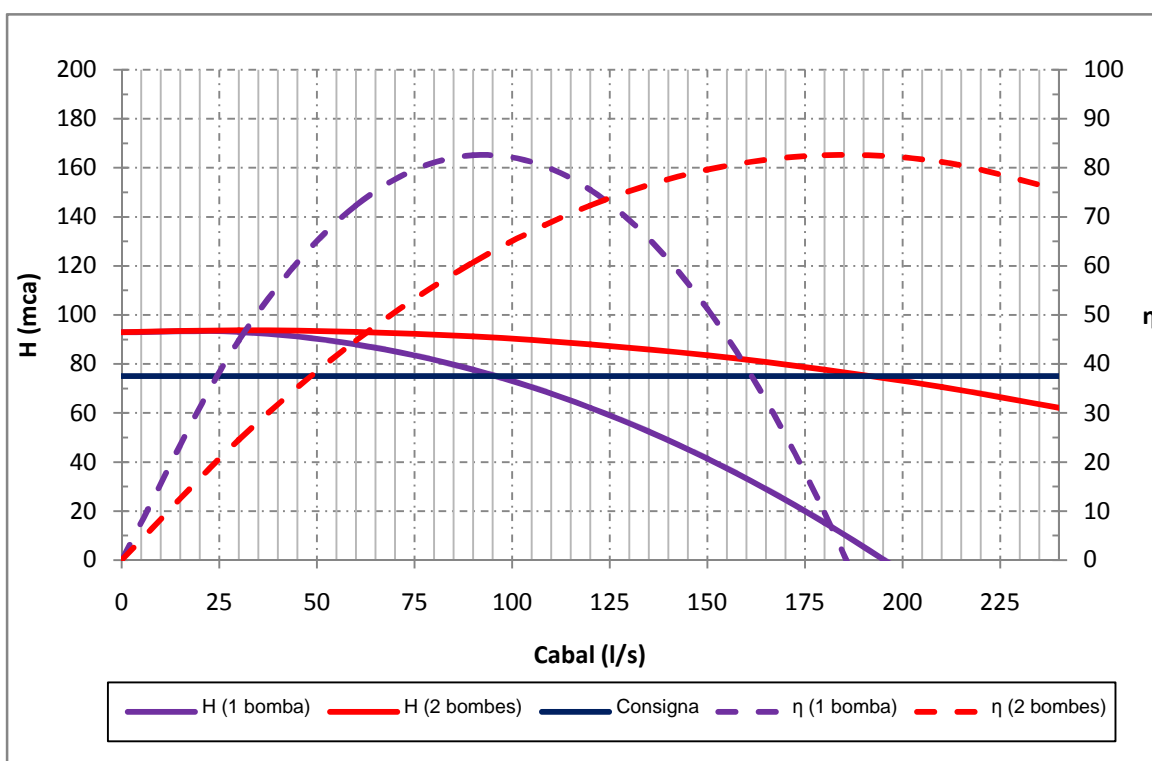


Fig. 16. Corbes característiques d'una bomba sola i en paral·lel a 1450 rpm

S'observa que a partir dels 50 l/s el rendiment ja és superior al 60 %, mantenint-se per sobre d'aquest rendiment fins als 140 l/s i que dues bombes en paral·lel amb una altura manomètrica de 75 mca (pressió de consigna del sector "D") i 1450 rpm (règim nominal) poden subministrar fins a 192 l/s.

A les figures 17 i 18 es mostra la corba característica d'altura d'una bomba i dues bombes treballant en paral·lel simulant el funcionament d'un variador de freqüència, en diferents velocitats de gir des de les 800 a 1800 rpm, l'interval de funcionament recomanat pel fabricant. També s'han representat les corbes isorendiment, les quals es caracteritzen per unir punts homòlegs amb el mateix rendiment. La corba verda es el rendiment màxim teòric al qual pot arribar la bomba, si el punt de funcionament s'aparta d'aquesta línia en qualsevol de les dues direccions el rendiment va disminuint tal i com s'observa a les figures.

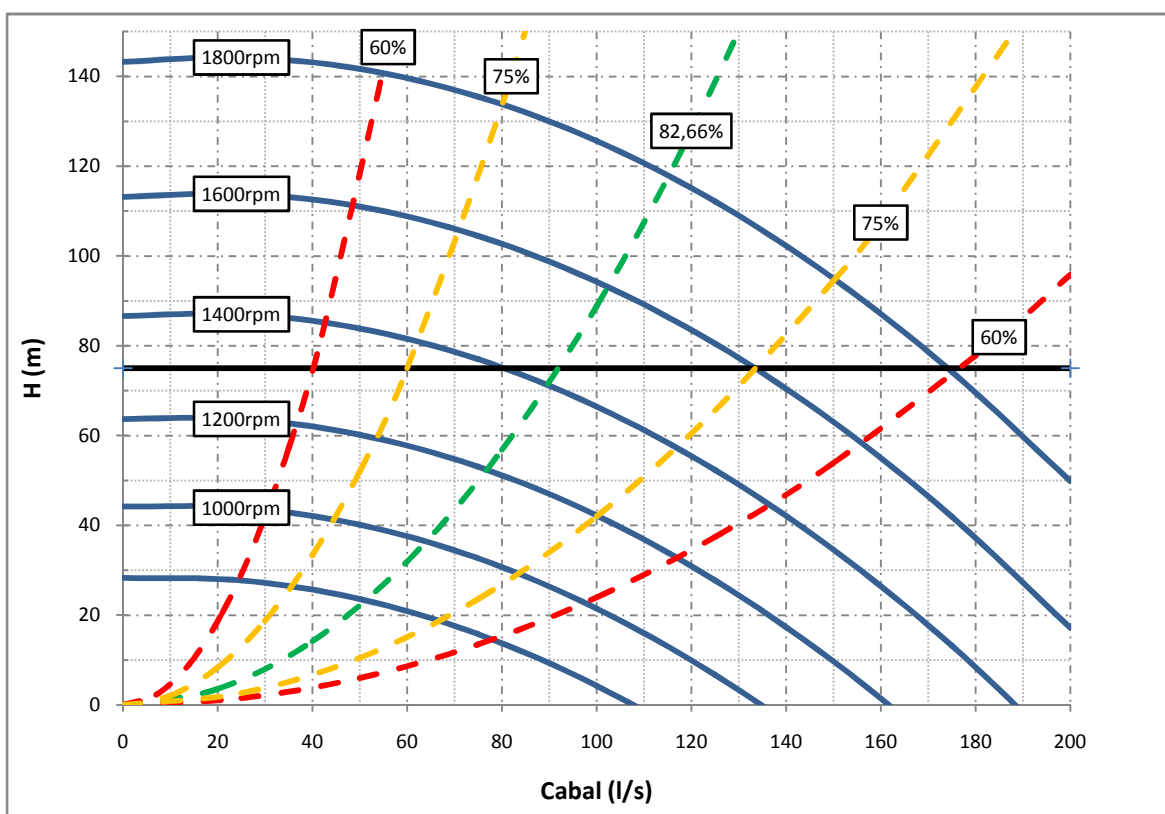


Fig. 17. Comportament teòric d'una bomba variant el règim de gir

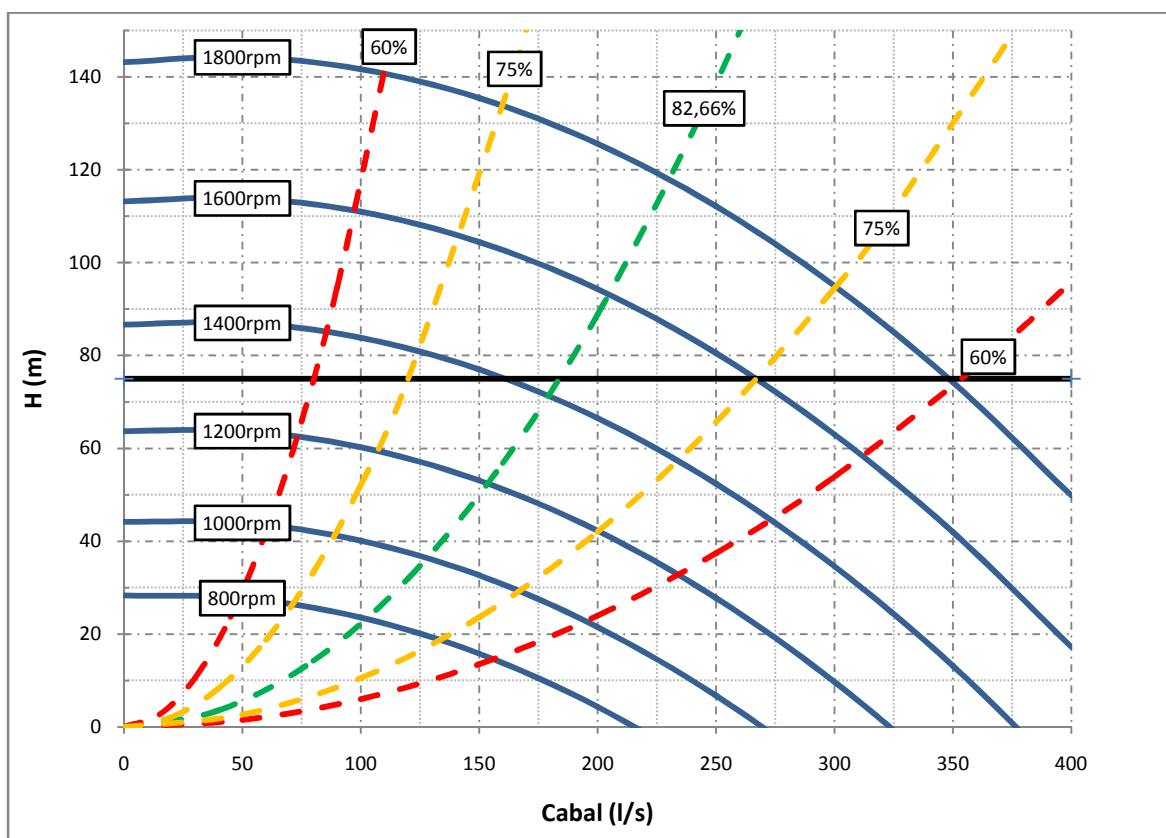


Fig. 18. Comportament teòric de dues bombes en paral·lel variant el règim de gir

En el cas en què només treballa una bomba i suposant una pressió de consigna de 75 mca, si es vol aconseguir un rendiment superior al 60% el punt de funcionament s'ha de situar entre els 40 i 178 l/s, per a què el rendiment fos superior al 75% l'interval seria dels 60 als 134 l/s. El rendiment màxim es situa als 92 l/s amb un règim de gir de 1436 rpm i un rendiment del 82,66%.

Quan les dues bombes treballen en paral·lel, per obtenir un rendiment superior al 60 % el punt de funcionament s'ha de situar entre els 80 i 356 l/s, els rendiments superior al 75 % es situen en l'interval de 120 als 268 l/s. El rendiment màxim es situa als 184 l/s amb un règim de gir de 1436 rpm i un rendiment del 82,66 %.

6.3.2. Corbes característiques experimentals de la instal·lació

En aquest apartat s'ha observat el comportament real de les bombes funcionant amb els variadors de freqüència. Més concretament les corbes de pressió i de potència, figures 19 i 20 respectivament. La corba de rendiment es comentarà en apartats posteriors.

La pressió de consigna assignada en el sector "D" és de 7,5 bar, durant la temporada 2008 la pressió mitja va ser de 7,38 bar amb una desviació estàndard del 0,37.

Les lectures compreses a l'interval $7,5 \pm 0,1$ bar (7,4 - 7,6 bar) representen 89% del total i en l'interval 7,2 – 7,8 hi ha el 95 % de dades, valors molt pròxim a l'objectiu. Les dades més allunyades poden correspondre a errors de lectura dels sensors o als instants de posada en marxa de les bombes.

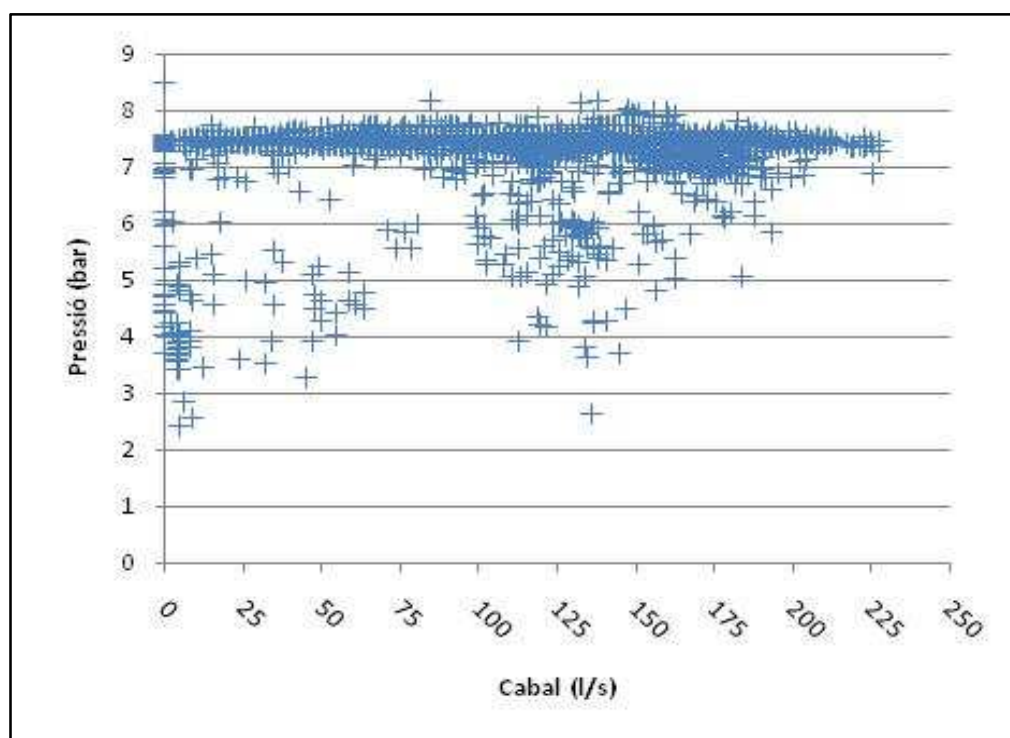


Fig. 19. Pressions en funció del cabal

Tenint en compte que la potència és directament proporcional al cabal i a l'altura manomètrica, equació 15, inversament proporcional al rendiment, equació 14 i observant la figura 20 es pot dir que hi ha una tendència lineal fruit de la pressió constant analitzada anteriorment. Tot i això, es diferencia dos tendències marcades entre els 50 i 150 l/s corresponents a l'interval de solapament d'una bomba i de dues bombes en paral·lel. El fet de que el rendiment no sigui continuu en aquest canvi produeix que per un mateix cabal hi hagi dos consums diferents de potència. A més a més, en cabals pròxims al 0 l/s la potència consumida és més elevada a la que teòricament correspondria fruit d'uns rendiments molt baixos en aquest cabals. En l'apartat següent s'analitzarà més profundament el tema dels rendiments.

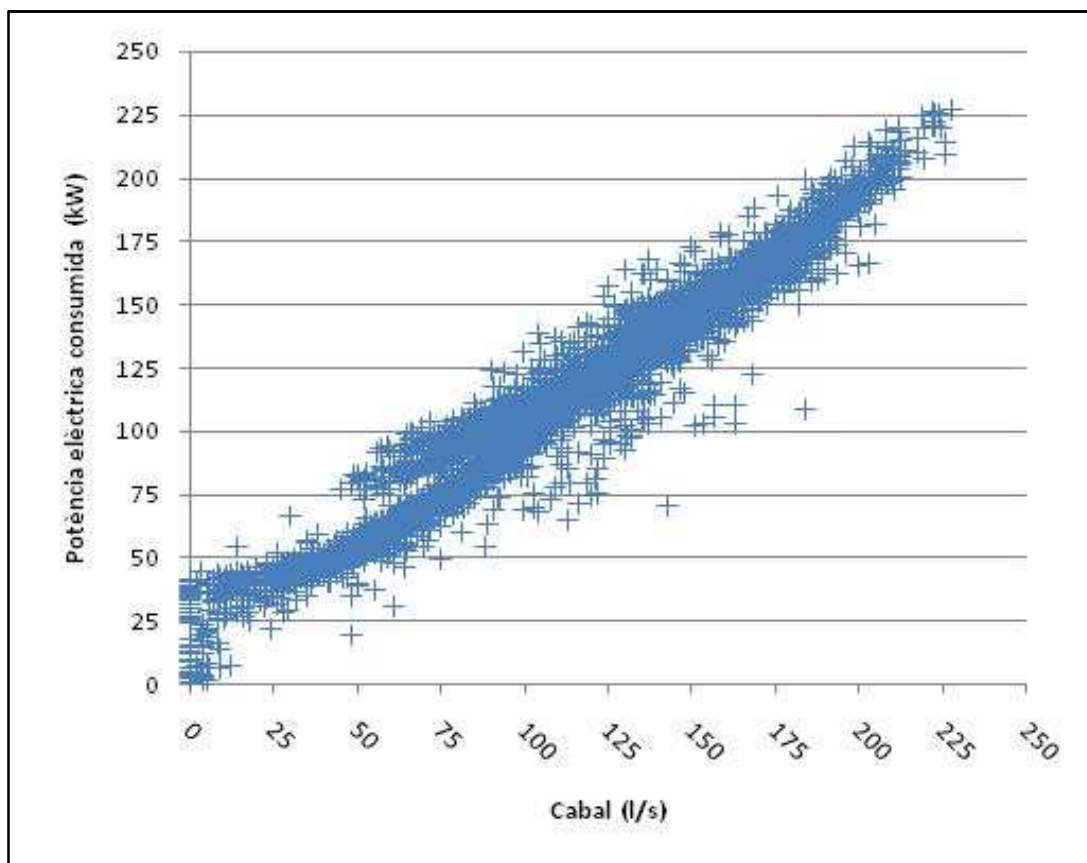


Fig. 20. Potències consumides en funció del cabal

Analitzant les dades s'obté que la potència mitja consumida l'any 2008 va ser de 113,1 kW amb una potència màxima de 227,2 kW.

6.4. Eficiència energètica general

6.4.1. Eficiència energètica del bombament

Com s'ha comentat anteriorment, per tal de saber la potència subministrada per la bomba és necessari saber l'energia de l'aigua en la secció immediatament anterior i posterior a aquesta. Degut a què els transductors de pressió estan instal·lats a una certa distància de la bomba, al col·lector d'admissió i d'impulsió, s'ha d'efectuar un balanç energètic mitjançant l'equació de la conservació de l'energia (17). Abans d'aplicar la metodologia explicada s'han dut a terme uns càlculs d'aproximació considerant el cabal mig de 112,4 l/s. S'ha observat que el terme de la velocitat només representa un 0,09% del balanç energètic i s'ha desestimat en els càlculs. De la mateixa manera que, segons els càlculs efectuats en un colze de 45 ° pel mateix cabal i un Ø de 35 cm, la pèrdua de càrrega singular corresponia a 0,024 mca, tenint en compte que la bomba proporciona una altura manomètrica de 73,8 mca, s'ha considerat que tampoc no és significant reflectir aquest terme en els càlculs.

Una vegada trobada l'energia hidràulica subministrada per la bomba i establint la relació entre aquesta i la energia elèctrica consumida, s'ha calculat l'eficiència energètica del grup motor - bomba en cada instant.

Els cabals s'han dividit en intervals de 10 l/s i s'ha calculat el rendiment mig obtingut en cada un d'ells, obtenint d'aquesta manera les corbes vermelles representades en els gràfics anteriors.

Si s'analitza la figura 21, es pot observar un comportament estrany en l'interval de cabals compres entre els 50 l/s i els 125 l/s, on es defineixen dues tendències de rendiments, el mateix que succeïa en el gràfic de la potència en funció de cabal, fig. 20, però a l'inversa. Aquesta bifurcació dels rendiments és el resultat del maneig i de la seqüència de funcionament de les bombes. Aquest fet, es pot veure més clar observant les figures (22 i 23) on s'han aïllat les dades en funció de si només funcionava una bomba o ho feien les dues en paral·lel. En aquestes gràfiques la tendència dels rendiments s'assimila més a la corba característica del rendiment d'una bomba tipus.

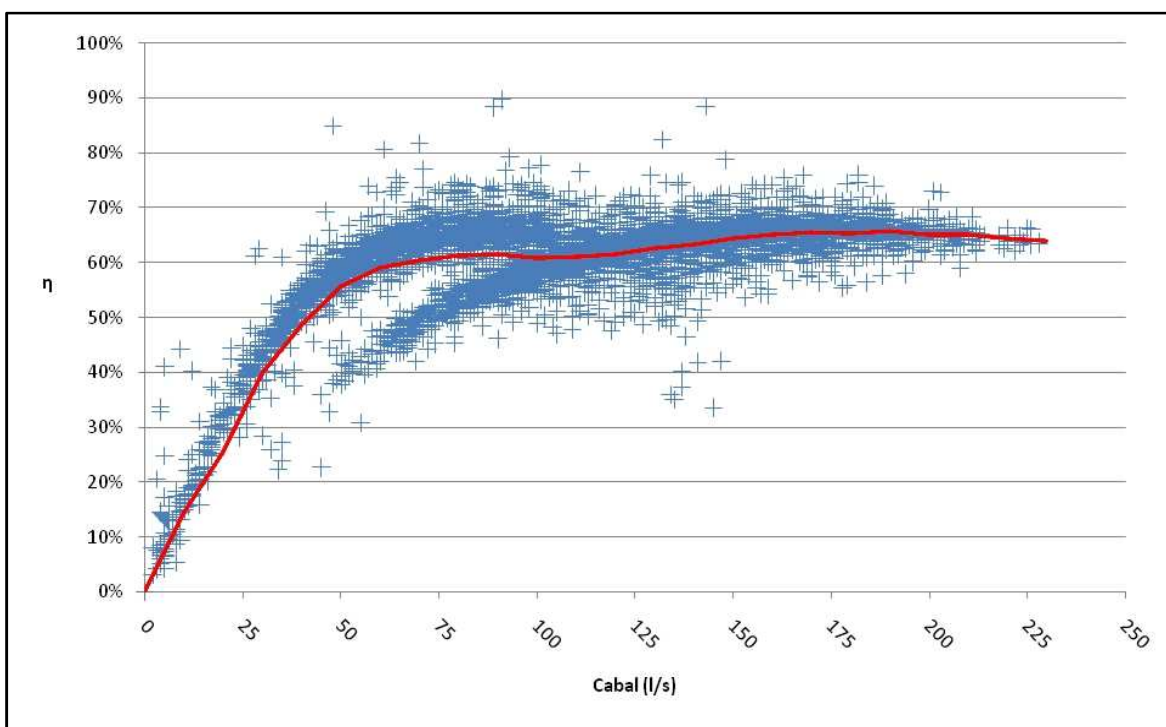


Fig. 21. Rendiment general en funció del cabal subministrat

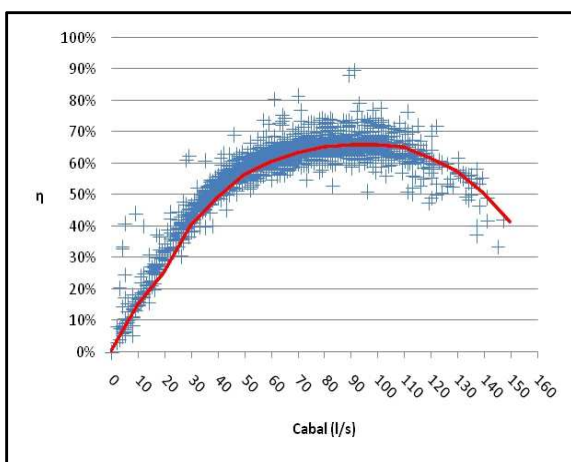


Fig. 22. Rendiment en funció del cabal quan només funciona 1 bomba

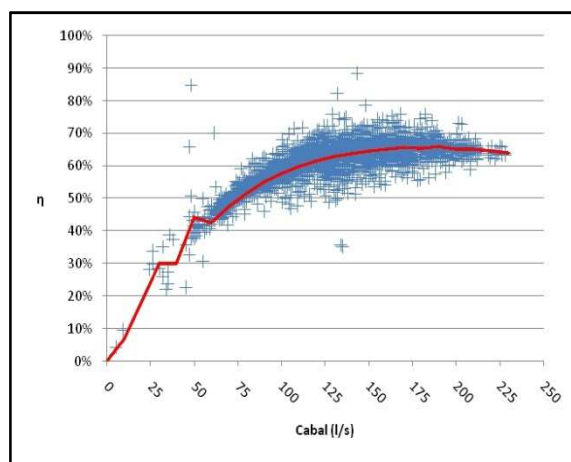


Fig. 23. Rendiment en funció del cabal quan funcionen les 2 bombes en paral·lel

Fent un anàlisi estadístic dels resultats obtinguts en la figura 16, s'obté un rendiment general de la instal·lació del 60,84% (promig del tots els rendiments obtinguts) amb una desviació estàndard del 0,09. Segons el "*Protocolo de Auditoría Energética en Comunidades de Regantes*" publicat pel IDAE li correspondria una qualificació "B", eficiència bona.

Taula 6. Qualificació energètica en funció de EEB, font IDAE

Qualificació	Descripció	Especificació
A	Eficiència excel·lent	EEB > 65%
B	Eficiència bona	60% ≤ EEB ≤ 65%
C	Eficiència normal	50% ≤ EEB < 60%
D	Eficiència acceptable	45% ≤ EEB < 50%
E	Eficiència no acceptable	EEB < 45%

Els cabals situats en el rang de 0 - 25 l/s tenen els rendiments més baixos, inferiors al 40%. Entre els 25 i 50 l/s es comença a tenir les dues agrupacions de rendiments arribant fins els 125 l/s, aquest tram correspon al solapament entre el funcionament d'una i dues bombes treballant en paral·lel i es pot observar que el rendiment d'una bomba és sempre superior al rendiment obtingut per les dues bombes treballant en paral·lel. En els cabals posteriors el rendiment s'unifica prenent valors compresos entre el 55 – 70% amb una tendència final del 65%.

Quan només funciona una bomba s'obté un rendiment mig del 57,83% amb una desviació estàndard del 0,13. El rendiment màxim se situa entre el 90 - 100 l/s amb un rendiment del 66%, dada que s'ajusta amb el seu cabal nominal de 96,7 l/s. Un rendiment acceptable (> 60%) s'assoleix en els cabals situats en el rang de 50 – 120 l/s, aquest interval és més reduït que l'extrem de les corbes teòriques de la figura 17 on s'aconsegueixen rendiments superiors al 60 % entre els 40 i 178 l/s.

En el cas de què funcionin les dues bombes s'arriba a un rendiment mig del 62,22% amb una desviació estàndard del 0,05. El rendiment màxim és del 66% amb un cabal de 190 l/s. Els rendiments superiors als 60 % s'obtenen a partir dels 110 l/s. En les gràfiques teòriques, fig. 18, s'obtenien als 80 l/s.

S'observa que el rendiment màxim d'una sola bomba és un 16,7 % inferior al rendiment màxim teòric extrem de les corbes del fabricant (82,7 %). Ja que aquestes inclouen el rendiment de la bomba, del motor i del variador de freqüència (97 % segons fabricant). A més a més, de reflectir el desgast ocasionat pels 8 anys que porten en funcionament les instal·lacions. El mateix succeeix amb les dues bombes en paral·lel.

Cal destacar que els rendiments màxims d'una i de dos bombes en paral·lel són molt semblats i és donen amb els mateixos cabals unitaris, és a dir, els 190 l/s corresponent a 95 l/s per a cada bomba.

6.4.2. Eficiència del subministrament energètic

En el sector "D" s'ha obtingut una eficiència del subministrament energètic del 73,22%.

El balanç energètic entre l'aigua que entra al sistema i l'aigua que en surt és negatiu (-54,04 m), la qual cosa significa que s'ha d'aportar energia addicional mitjançant un bombament. Això és degut a què l'energia de posició inicial de l'aigua (EI) és de 207 m, corresponent a la cota mínima de l'embassament de regulació. I l'energia mitja demandada per les parcel·les del sector "D" (ED) és de 261,04 m.

L'índex de càrrega energètica (ICE) del sector "D", l'any 2008, va ser de 73,8 m, valor corresponent a l'alçada manomètrica mitja de les bombes del sector "D" durant aquella campanya.

6.4.3. Eficiència energètica general

L'eficiència energètica general del sector "D" l'any 2008 va ser del 44,55 %, producte de les anteriors eficiències i corresponent a una qualificació segons el IDAE "B", "Eficiència bona".

Taula 7. Qualificació energètica en funció de EEG, font IDAE

Qualificació	Descripció	Especificació
A	Eficiència excel·lent	EEG > 50%
B	Eficiència bona	$40\% \leq \text{EEG} \leq 50\%$
C	Eficiència normal	$30\% \leq \text{EEG} < 40\%$
D	Eficiència acceptable	$25\% \leq \text{EEG} < 30\%$
E	Eficiència no acceptable	$25\% < \text{EEG}$

6.5. Factor de potència

El factor de potència s'utilitza per descriure la quantitat d'energia elèctrica que s'ha convertit en treball. El valor ideal del f.d.p. és 1. Això indica que tota l'energia consumida pels aparells ha estat transformada en treball, en canvi, un f.d.p. menor a la unitat significa un major consum d'energia necessària per a produir un treball, ocasionant una sèrie de problemes tècnics:

- Major consum de corrent
- Augment de les pèrdues en els conductors
- Sobrecarrega de transformadors, generadors i línies de distribució
- Increment de la caiguda de voltatge

I consegüentment els següents problemes econòmics:

- Increment de la factura elèctrica per major consum de corrent
- Sobrecarrega de fins 120 % del cost de facturació
- Major desgast dels equips elèctrics

El factor de potència és defineix com la relació entre la potència activa i la potència aparent:

$$f.d.p. \equiv \cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (31)$$

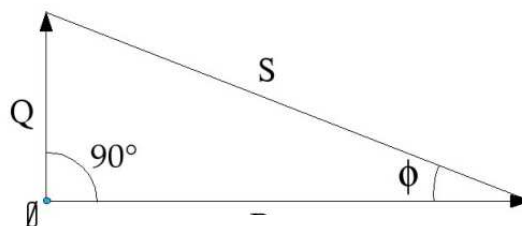


Fig. 24. Triangle de potències

Sent "P" la potència activa expressada en (W), extreta de les lectures dels variadors de freqüència i "S" la potència aparent expressada en (VA) i s'obté mitjançant les següents equacions:

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \quad (32)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (33)$$

On:

"V" és el voltatge expressat en (V)

"I" és la intensitat expressada en (A),

"Q" és la potència reactiva expressada en (VAr)

S'ha calculat el factor de potència per a cada lectura i s'ha obtingut la fig. 25. El factor de potència mig del sector "D" va ser de 0,87 i s'observa que a mesura que augmentar el cabal també augmenta el factor de potència,.

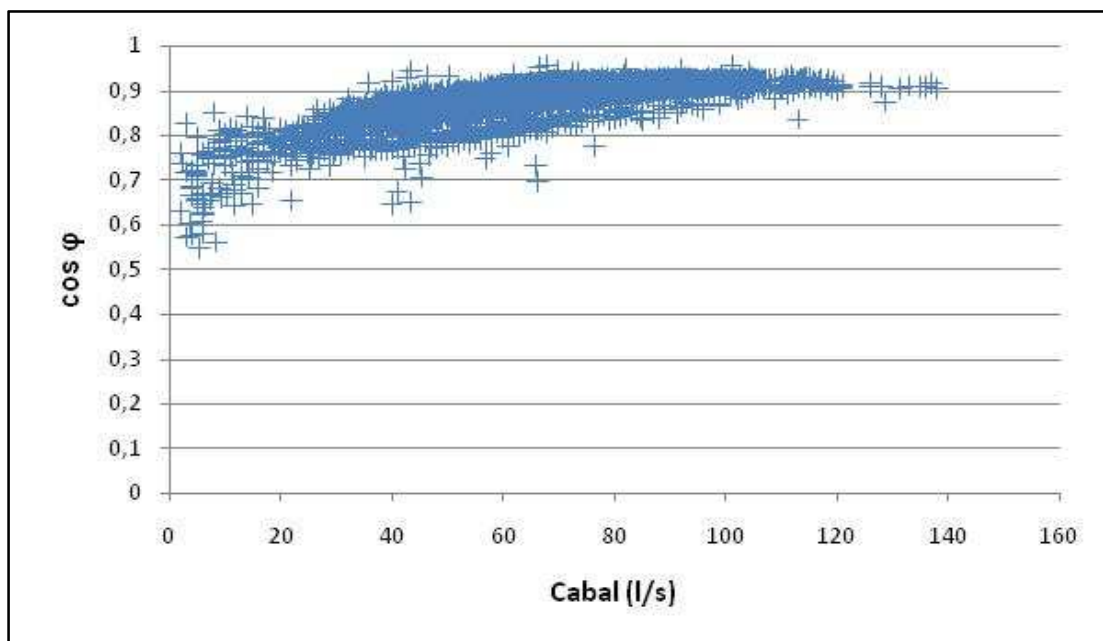


Fig. 25. Factor de potència en funció del cabal subministrat

En l'estació de bombament hi ha instal·lades bateries de condensadors per compensar aquest factor de potència. L'agost de l'any 2008 l'estació de bombament superior (el comptador de l'energia elèctrica és comú per a tots els sectors de reg) va consumir una energia activa de 112770 kWh i una energia reactiva de 4.198 kVArh, per tant l'energia aparent consumida va ser de 112848 kVAh, la qual cosa equivaldria a un factor de potència del 0,999, valor molt pròxim a la unitat. Al ser superior als 0,95 van obtenir una bonificació econòmica del 4 % sobre l'import de la factura elèctrica, bonificació màxima a la que es pot optar.

7. Propostes de millora

En aquest apartat s'analitza un sèrie de propostes de millora, cada una enfocada a actuar sobre un element diferent del sistema, amb la finalitat de millorar-ne l'eficiència i reduir-ne els costos d'explotació.

Per tal de poder comparar les diferents propostes i quantificar el impacte d'aquestes sobre el conjunt es necessari calcular l'energia que es consumeix en la situació inicial i en la final per a saber l'estalvi obtingut energèticament i posteriorment poder-lo traduir a un estalvi econòmic.

Per a calcular l'energia consumida s'ha utilitzat la següent fórmula:

$$E = \frac{\gamma V \cdot H_m}{3600 \cdot 10^3 \cdot \eta} (kWh) \quad (34)$$

On:

γ = Pes específic de l'aigua (9.810 N/m³)

V = Volum d'aigua elevada (m³)

H_m = Altura manomètrica subministrada per l'estació de bombament (m)

η = Rendiment

L'any 2008 és van consumir 699.998 m³ d'aigua en el sector "D", a una alçada manomètrica mitja de 73,84 mca i un rendiment mig de l'estació de bombament del 60,84 %. La qual cosa va significar un consum energètic de 231.507 kWh i una despesa econòmica de 24.907 €.

El preu de l'energia considerat correspon al reflectit en la factura de l'agost de l'any 2008 de la comunitat de regants de Carrassumada amb un cost de l'energia de 0,107588 €/kWh.

7.1. Evitar cabals inferiors als 50 l/s

Observant les dades experimentals de l'apartat 6.4.1 s'observa que per obtenir un rendiment acceptable s'ha de subministrar com a mínim un cabal de 50 l/s al qual li correspon un rendiment del 55,9 %. Per la qual cosa, s'hauria de limitar el funcionament de les bombes a cabals superiors a aquest. Per aconseguir-ho es pot agrupar les comandes d'aigua dels regants fins a què la demanda superi els 50 l/s.

Ponderant el rendiment mig de cada interval de cabals (10 l/s), des dels 50 l/s fins als 230 l/s, amb la freqüència que es dona cada un d'aquests intervals extreta de la funció de densitat calculada en l'apartat 6.2, s'ha obtingut un rendiment mig esperat de la instal·lació del 62,47 %. Això suposaria un increment del 1,63 % sobre el rendiment inicial que correspondria a un estalvi energètic de 6040 kWh equivalents a 650 € anuals.

Aquest modest increment de l'eficiència no és més gran perquè els cabals inferiors als 50 l/s només representen el 6 % del conjunt.

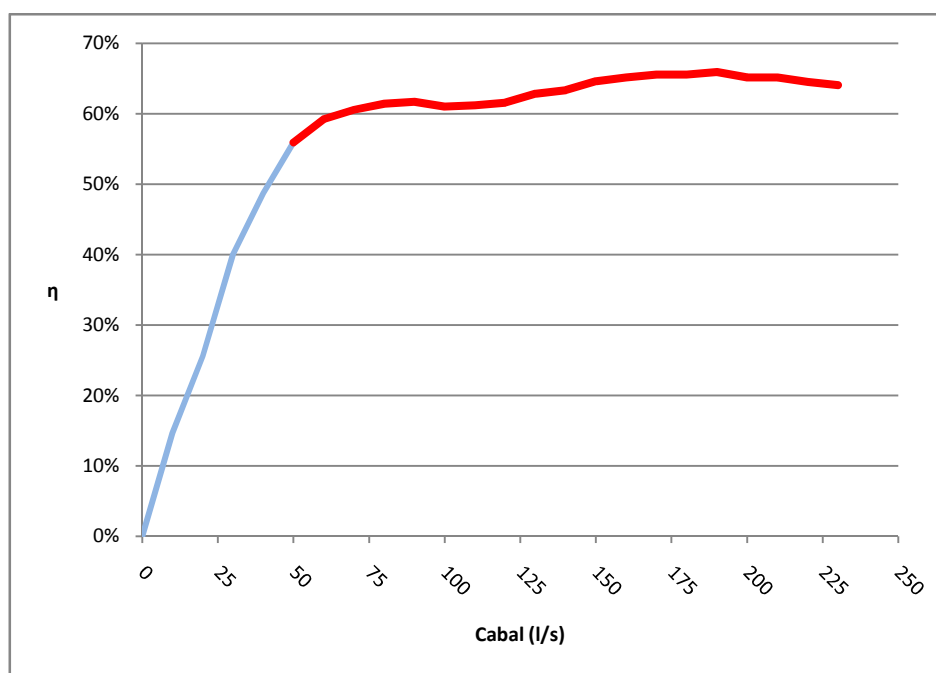


Fig. 26. Funcionament proposat eliminant els cabals < 50 l/s

7.2. Canviar el maneig de les bombes

La seqüència actual de funcionament de les bombes consisteix en què si la primera bomba (mestra) no pot mantenir la pressió de consigna perquè la demanda de cabal és massa elevada, entra en funcionament la segona bomba en paral·lel (esclava) i s'igualen els règims de gir d'ambdues bombes, apartat 6.1.1.

En canvi, el punt òptim on hauria d'entrar en funcionament la segona bomba és quan s'iguali el rendiment d'una sola bomba i el rendiment del conjunt de dues bombes treballant en paral·lel, d'aquesta manera s'assegura que el consum d'energia és el mínim possible en tot el ventall de cabals, tal i com es mostra en la figura següent on hi ha representats els rendiments d'una i dues bombes treballant en paral·lel. També hi ha representada l'energia consumida per elevar un metre cúbic d'aigua a 75 mca per a cadascun dels dos casos.

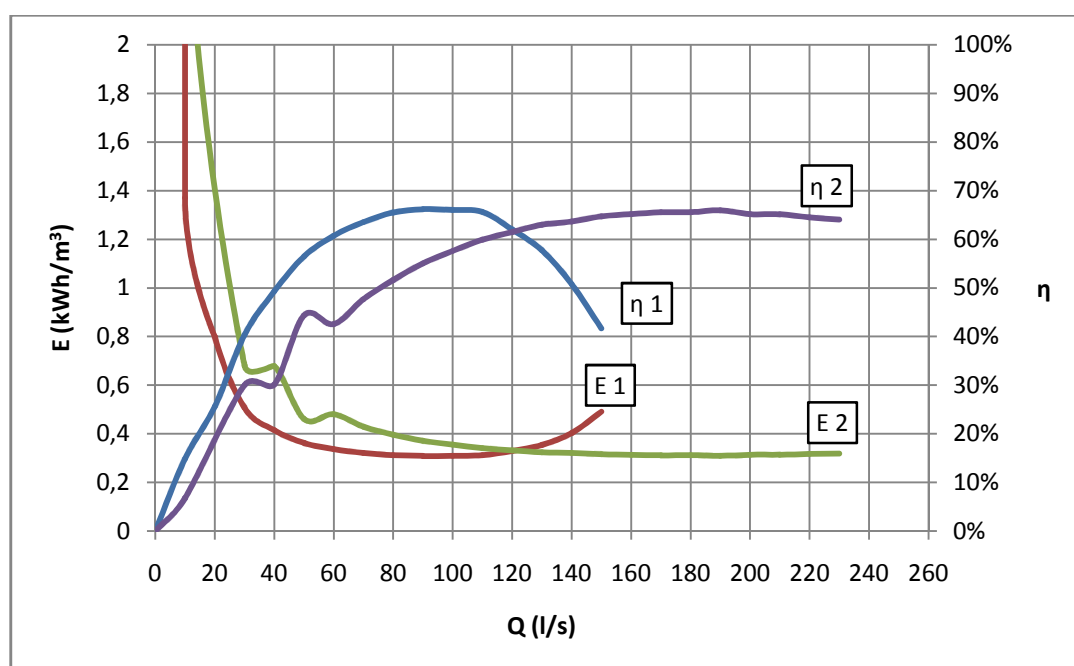


Fig. 27. Punt òptim de canvi d'una a dos bombes en paral·lel

El punt òptim de canvi de funcionament és als 122 l/s amb un rendiment del 61%. Aquesta mesura s'ha valorat utilitzant la mateixa metodologia que en l'apartat anterior i suposaria un augment del rendiment mig del sistema d'un 1,52% arribant al 62,36%. La qual cosa equivaldria un estalvi energètic de 5.643 kWh, corresponent a 607 € anuals.

7.3. Torns amb la mateixa demanda energètica

El valor de la pressió de consigna (75 mca) està fixat en funció de la pressió requerida en el punt més crític i no es té en compte des del lloc on prové la demanda, per la qual cosa tots els nusos favorables tenen un excés de pressió que s'ha de dissipar mitjançant les vàlvules reductores de pressió.

La proposta de millora consisteix en dividir el sector "D" en torns de reg que agrupin les parcel·les amb una demanda energètica més o menys homogènia en capçalera, per adequar la demanda d'energia de la zona regada al subministrament energètic per part de les bombes. D'aquesta manera s'aconsegueix reduir els excessos de pressió als nusos favorables i per tant que l'eficiència del subministrament energètic augmenti.

L'energia necessària en cada hidrant s'ha calculat mitjançant l'equació 25 on intervenen les següents variables: la pressió requerida abans de l'hidrant (dada extreta dels càlculs hidràulics del projecte de l'obra, resultant del procediment explicat en l'annex 3, en el qual es garanteix una pressió mínima de 20 mca en el punt més desfavorable de qualsevol parcel·la), la diferència de cota entre l'hidrant i el punt de captació i una pèrdua de càrrega de 9 mca.

S'han comparat dues alternatives, una amb dos torns de reg amb les pressions de consigna 50 i 75 mca i una altra amb tres torns de reg amb les pressions de consigna 39, 55, 75 mca. Aquest valor de les pressions de consigna s'han determinat mitjançant l'aplicació "Solver" del software Microsoft Excel que permet optimitzar funcions a través de iteracions, definint un objectiu (mínim, màxim, etc) i amb el compliment d'una sèrie de restriccions. En el nostre cas l'objectiu era aconseguir el mínim consum energètic variant les pressions de consigna i complint que l'alçada manomètrica de les bombes en cada torn sigui superior o igual a la pressió manomètrica requerida per les parcel·les assignades en aquest torn. En l'annex 3, s'adjunta un anàlisi estadístic amb la freqüència relativa i acumulada de les pressions requerides del conjunt de les parcel·les i una taula on

s'especifica la freqüència acumulada per les pressions seleccionades en aquesta mesura.

En la taula 8, es mostra els resultats obtinguts amb les dues alternatives i en l'annex 4 s'adjunta el llistat de finques amb el torn assignat i el consum energètic que li hauria correspost l'any 2008.

Taula 8. Torns amb la mateixa demanda energètica

	Situació actual	Alternativa 1		Alternativa 2		
		Torn A	Torn B	Torn A	Torn B	Torn C
Pressió (m)	75	50	75	39	55	75
Superfície (ha)	205,2	73,82	131,35	28,95	86,89	89,35
Volum (m3)	675542	283154	392388	149687	267068	258787
Consum energètic (kWh)	226929,5	63411,8	133569,3	26147,2	65790,3	86932,3
		196981,1		178869,8		
Cost econòmic (€)	24414,9	6222,3	14370,5	2813,1	7078,2	9352,9
		21192,8		19244,2		

Analitzant la taula anterior, s'observa que l'estalvi aconseguit amb l'alternativa 1 és de 3.222,1 € anuals (un 13,2%) i amb l'alternativa dos 5.170,7 € (21,2%). Ambdues, sense efectuar cap modificació substancial de les instal·lacions, és a dir, que es podria aconseguir solsament amb la modificació del SCADA de l'estació de bombament i del maneig dels torns de reg.

Una vegada avaluat l'important estalvi que es podria aconseguir aplicant qualsevol d'aquestes dues alternatives, es van plantejar als gestors de la comunitat de regants. Una vegada analitzada la idea van suggerir que no es podria aplicar degut a què les instal·lacions de les parcel·les estan dissenyades per a un temps de reg de 8 hores i no hi ha temps per a fer més d'un torn de reg. Si s'ampliés la jornada de reg s'hauria de bombar aigua en les hores pla i punta, i l'estalvi energètic no compensaria l'increment de la tarifa. Aquesta limitació no s'ha pogut contrastar perquè no s'ha pogut disposar de les dades de cabals i temps de reg de cada hidrant.

Una possible solució seria reorganitzar els regs en parcel·la per regar-la tota de cop, ja que es disposa de suficient potència de bombes i d'aquesta manera poder incorporar un altre torn de reg.

Un altra opció seria aplicar els torns de reg només en el mes d'agost, en el qual totes les hores del dia estan considerades vall i és el segon mes amb més consum d'aigua de tota la campanya de reg (171.07 m³).

Taula 9. Torns amb la mateixa demanda energètica en el mes d'agost

	Situació actual	Alternativa 1		
		Resta de mesos	Agost	
			Torn A	Torn B
Pressió (m)	75	75	50	75
Volum (m ³)	675542	504435	71720	99387
Consum energètic (kWh)	226929,48	169450,86	16061,48	33386,41
		218898,74		
Cost econòmic (€)	24414,89	18230,88	1728,02	3591,98
		23550,88		

		Alternativa 2		
		Resta de mesos	Agost	
			Torn A	Torn B Torn C
Pressió (m)	75	39	55	75
Volum (m ³)	504435	37914	67645	65548
Consum energètic (kWh)	169450,86	6622,80	16663,92	22018,94
		214756,52		
Cost econòmic (€)	18230,88	712,53	1792,84	2368,97
		23105,22		

Incorporar aquesta modificació a la proposta inicial fa que els resultats siguin menys importants respecte l'original. L'estalvi aconseguit amb l'alternativa 1 (2 torns de reg) és de 864,01 € (3,54%) i amb l'alternativa dos (3 torns de reg) 1309,67 € (5,36%).

7.4. Assignar la pressió de consigna en funció dels hidrants oberts

Degut a la impossibilitat d'aplicar la mesura anterior per culpa dels torns de reg, aquesta proposta consistiria en intercomunicar el SCADA que controla l'estació de bombament amb l'ordinador encarregat de controlar les obertures dels hidrants.

A cada hidrant s'assignaria una alçada manomètrica mínima per a satisfer les seves necessitats de pressió, la mateixa que s'ha assignat a cada hidrant en la proposta anterior. Com que l'ordinador detecta en cada moment quins hidrants estan oberts és fàcil saber quin hidrant és el que necessita major energia i quina alçada manomètrica li correspondria per assignar-la a les bombes.

Per tal de poder quantificar aquesta alternativa s'ha calculat en intervals del 10% la freqüència d'obertura simultània d'hidrants (0% tots tancats, 100% tots oberts) durant la campanya 2008. A més a més, per a cada interval s'ha calculat la pressió mitja necessària per satisfer les necessitats del conjunt d'hidrants oberts i s'ha obtingut la figura 28. En l'annex 6 s'explica més detalladament els càlculs i les consideracions dutes a terme.

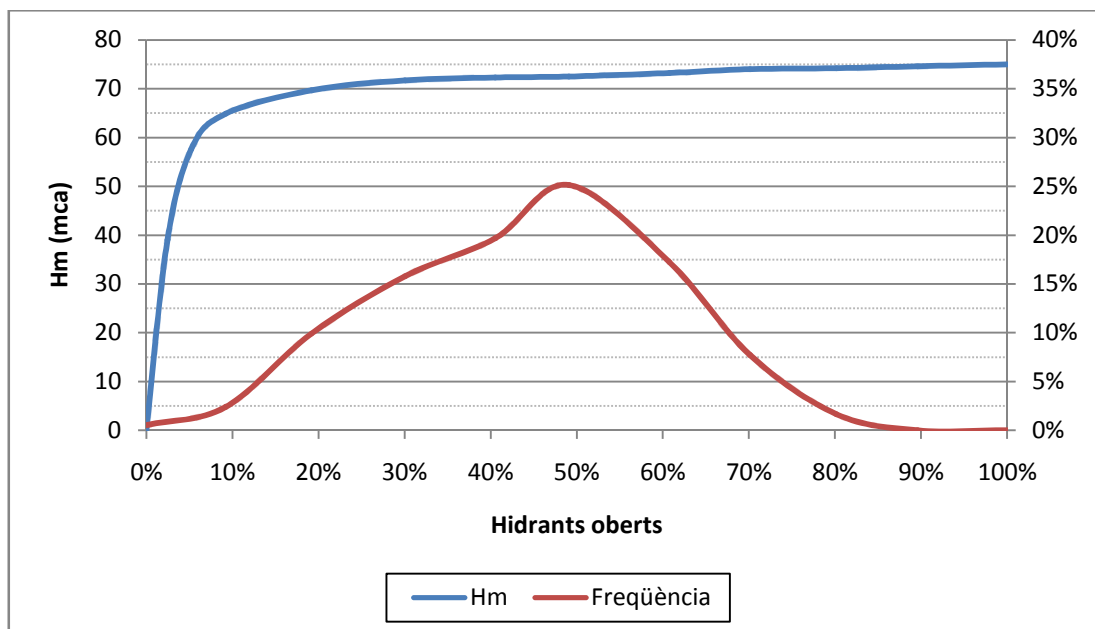


Fig. 28. Altura manomètrica en funció dels hidrants oberts i freqüència relativa

Mitjançant la freqüència relativa de cada grup s'ha estimat el volum d'aigua consumit per aquest i mitjançant la pressió que li correspon s'ha trobat l'energia consumida per a cada un. Finalment la mesura correspondria a un estalvi energètic de 6073,25 kWh, és a dir 653,4 € anuals.

7.5. Ajustar la pressió de consigna a les necessitats actuals de les parcel·les

Des de l'any 2009 que els gestors de la comunitat de regants intenten ajustar al màxim la pressió de consigna a les necessitats actuals de les parcel·les. Partint de la base en què la xarxa de distribució i les instal·lacions de la comunitat de regants, així com les pressions de les vàlvules reguladores instal·lades en cada parcel·la i l'alçada manomètrica de les bombes, es van dissenyar considerant que totes les parcel·les regarien mitjançant un reg per aspersió. Es necessari comprovar en l'actualitat, tenint en compte que la majoria de parcel·les reguen per degoteig, si l'alçada manomètrica de les bombes és l'adequada per les instal·lacions o pel contrari es podria reduir.

L'any 2009, mitjançant una sèrie d'assajos en els quals els gestors de la comunitat modificaven l'alçada manomètrica de les bombes es va comprovar que amb 68 mca eren suficients per aconseguir la pressió necessària en la capçalera de la parcel·la més desfavorable del sector "D", l'AG 306, la qual segons els càlculs del projecte necessita una alçada manomètrica a les bombes de 75 mca.

Actualment en la parcel·la hi ha un cultiu de presseguers i el sistema de reg utilitzat és el degoteig mitjançant una manega amb emissors autocompensants (0,5 – 4 bar) integrats de la marca Netafim model RAAM amb un cabal de 3,5 l/s. L'element limitant respecte la pressió és la bomba hidràulica del fertilitzant instal·lada en el sistema de reg de la parcel·la, la qual necessitaria una pressió de 2,5 a 3 bar pel seu correcte funcionament.

Aquesta reducció de 7 mca ha suposat en l'actualitat un estalvi energètic de 21.947 kWh, corresponents a 2.361 € anuals respecte l'any 2008.

La introducció d'aquesta mesura va ser immediat, ja què només és necessari variar la pressió de consigna en l'autòmat de l'estació de bombament i no suposa cap perjudici en les altres parcel·les, ja què la AG 306 és la parcel·la amb un requeriments energètics més elevats.

8. Resum

El cabal de disseny del sector "D" és de 286,86 l/s, dada que es va calcular tenint en compte una qualitat de funcionament del 99%. Tenint en compte aquest cabal, es van dimensionar 4 bombes iguals (3 en funcionament i 1 de recanvi) amb un cabal unitari de 96,67 l/s, obtenint mitjançant les 3 bombes un cabal total de 290 l/s. Amb la situació actual, durant la campanya 2008 el cabal màxim va ser de 228 l/s, per la qual cosa amb dues bombes treballant a 1517 rpm es subministra aquest cabal, amb un rendiment teòric del 80 %. La diferència entre el cabal de disseny i el cabal màxim observat és degut a que les instal·lacions van ser dissenyades per un reg per aspersió i actualment en el 92 % de la superfície hi ha instal·lat el reg per degoteig.

Una altra conseqüència del disseny de les instal·lacions per un reg per aspersió va ser que la pressió de consigna és va fixar massa elevada, poden passar dels 75 mca inicials als 68 mca necessaris actualment.

Amb les funcions de densitat s'ha observat que el cabal mig de les bombes va ser de 66,4 l/s amb un rendiment mig real del 60,84 %, el qual es inferior als 96,7 l/s de cabal nominal on hi ha el rendiment màxim de la bomba.

També s'observa, en les funcions de densitat que la demanda concertada actual és gestionada correctament, ja que no hi ha una concentració elevada de cabals petits. Per aquest motiu la primera proposta de millora, on s'elimina els cabals inferiors als 50 l/s, no suposa un increment significatiu en el rendiment mig.

Cal destacar que en el tram on es solapa el funcionament d'una bomba i dos bombes treballant en paral·lel, cabals compresos entre els 50 i 125 l/s, els rendiments són superiors per una sola bomba, ja que aquest tram on els cabals són més elevats, és el punt òptim de funcionament de les bombes instal·lades.

El factor de potència dels motors és correcte i s'observa una tendència creixent a mesura que la bomba entra en plena carrega, per la qual cosa s'ha de intentar que les bombes treballin en aquest rang. Tot i això l'estació de bombament

compta amb els sistemes auxiliars de correcció que augmenten el factor de potència fins un valor pròxim a la unitat.

Les qualificacions obtingudes segons el protocol d'auditories energètiques del IDAE són per l'eficiència energètica del bombament (EEB) una "B", eficiència bona, i per l'eficiència energètica general (EEG) una "B", eficiència bona.

Tot seguit es mostra una taula resum dels resultats obtinguts amb cada una de les propostes analitzades.

Taula 10. Quadre resum de les propostes de millora plantejades

Proposta			Millora	Repercussió	Estalvi		Viabilitat
					Energ. (kWh)	Eco. (€/any)	
1	Evitar Q < 50 l/s		Es suprimeixen els cabals amb un rendiment baix	$\eta_{\text{mig}}=62,47 \%$ $\Delta = 1,63 \%$	6.040	650	Si
2	Canviar el maneig de les bombes		Canviar d'una a dues bombes en el punt òptim	$\eta_{\text{mig}}=62,36 \%$ $\Delta = 1,52 \%$	5.643	607	Si
3	Torns amb la mateixa demanda energètica (tot any)	2 t.	Reducir l'excés de pressió ens els nusos favorables	2 P. consigna	29.948	3.222	No
		3 t.		3 P. consigna	48.059	5.170	No
	Torns amb la mateixa demanda energètica (agost)	2 t.		2 P. consigna	8.031	864	Si
		3 t.		3 P. consigna	12.173	1.309	Si
4	P. en funció dels hidrants oberts		Ajustar la P. de consigna en funció de la demanda	Pressió variable	6.073	653	Si
5	Ajustar P. a les necessitats actuals		Ajusta la P. a les necessitats actuals	P _{consigna} 68 mca	21.947	2.361	Es du a terme

Combinant la proposta 1 i 2 s'aconseguiria un rendiment mig del 64,1 %, la qual cosa suposaria un increment d'un 3,26 % amb un estalvi energètic de 11.774 kWh i un estalvi econòmic de 1.266 € anuals. Aquestes propostes es podrien dur a terme canviant el maneig de la demanda concertada i introduït alguna modificació en els variadors de freqüència respectivament, la qual cosa significa que no

s'hauria d'invertir diners. En la proposta 3 s'hauria d'adoptar la segona opció fent tornos de reg en el mes d'agost, d'aquesta manera s'estalviaria 1.309 €/anuals més. L'alternativa 4 és l'única en la qual s'hauria d'invertir diners per a modificar el programari del SCADA però la despesa es justificaria amb els 653 € anuals d'estalvi. La proposta numero 5, la qual ja es du a terme, és amb la que s'aconsegueix un estalvi més important 2.361 € i la més fàcil d'aplicar, ja que només es varia la pressió de consigna. Finalment combinat aquestes propostes de millora s'aconsegueix un estalvi energètic de 51.967 kWh, corresponents a un estalvi econòmic de 5.589 € /anuals, el que equivaldria a un 22 % de la situació inicial, any 2008.

9. Conclusions

L'eficiència energètica general del sector "D" de la comunitat de regants de Carrassumada és bona, amb una correcta eficiència en el subministrament energètic i una menor eficiència de bombament però acceptable.

Aquesta menor eficiència en el bombament es degut a què els equips van ser dissenyats considerant les necessitats màximes i amb totes les parcel·les equipades amb un reg per aspersió, situació bastant diferent de l'actual on quasi totes reguen per degoteig.

L'estalvi energètic més gran s'aconsegueix amb la proposta de fer torns amb la mateixa demanda energètica, reduint fins a un 21,2 % el consum d'energia, tot i que en la comunitat de regants en qüestió no es pot implantar per problemes tècnics deguts al disseny de les instal·lacions en parcel·la, s'hauria de tenir en compte per a futurs projectes.

L'impacte aconseguit amb les altres mesures proposades és modest, però la possibilitat de poder-les combinar fa que s'arribi a valors importants semblants a la mesura descartada i es redueix el consum energètic i econòmic en un 22 % respecte la situació inicial i sense dur a terme cap inversió important de diners.

ANNEXES

Annex 1: Característiques tècniques de les instal·lacions

• BASSA

- Volum: 337.715 m³
- Cota màxima de l'aigua: 217 m.s.n.m.
- Cota mínima: 207 m.s.n.m.
- Cota coronació: 218,25 m.s.n.m.
- Sistema impermeabilització: Argiles
- Presa d'aigua: Pericó de fons i canonada de xapa d'acer de Ø 1.600 mm
- Sobreeixidor: Morning – glory i canonada de xapa d'acer de Ø 1.200 mm

• ESTACIÓ DE FILTRATGE

- Tipus: Cadenes
- Cabal: 2.013 l/s

• XARXA DE REG

Taula 11. Característiques tècniques de la xarxa de reg

Sector	A	B	C	D
Superfície regable	95,08 ha	618,64 ha	578,15 ha	202,20 ha
Nº d'hidrants	41	115	142	34
Longitud total xarxa	7.662 m	21.952 m	18.630 m	9.525 m
Ventoses	18	35	27	16
Desguassos	13	29	19	9
M. canonada/ha	80,58	35,45	32,22	47,1

Taula 12. Característiques tècniques de les estacions de bombament

Estacions de bombament		Estació de captació		Estació de bombament superior			
Cota d'aspiració		102,20 m.s.n.m		207,00 m.s.n.m			
Sector		Bomba principal	Bomba ompliment	A	B	C	D
Bombes	Numero	5	1	Funciona per gravetat	4 (3+1)	4 (3+1)	4 (3+1)
	Regulació				2 regulador estàtic 2 variador de freqüència	2 regulador estàtic 2 variador de freqüència	2 regulador estàtic 2 variador de freqüència
	Cabal unitari	1.035 m³/h	182 m³/h		966 m³/h	930 m³/h	348 m³/h
	Alçada manomètrica (mca)	120	118		25 mca	48 mca	78 mca
	Tipus	Centrífuga vertical	Centrífuga vertical		Centrífuga de cambra partida	Centrífuga de cambra partida	Centrífuga multicel·lular
	Marca	IDP	IDP		IDP	IDP	IDP
	Model	18 ENH/5	12 EMM/9		10LR-17B	10LR-17B	200NMA
Potència motor	500 kW	90 kW	90 kW		185 kW	110 kW	
Proteccions contra cop d'ariet	Numero	3			1	1	1
	Volum unitari	20.000 l			30.000 l	30.000 l	20.000 l
	Tipus	Hidropneumàtic			Hidropneumàtic	Hidropneumàtic	Hidropneumàtic
	Diàmetre boca de connexió	700 mm		700 mm	700 mm	400 mm	

Annex 2: Parcel·les del sector "D"

Taula 13. Parcel·les sector "D"

HIDRANT	SUPERFICIE (ha)	Cabal (l/s)	Cota (m)	Pressió requerida (mca)	CULTIU	CONSUM 2008 (m³)
AG084	3,5264	6	202	46	ALBERCOC	870
AG085	7,3209	11	223	37	PRESSEGUER	39260
AG086	3,8	6	223	35	NO	0
AG087	0,925	3	214	41	NO	0
AG161	7,6667	12	200	50	PRESSEGUER	30172
AG166	9,2277	14	186	65	PRESSEGUER	48326
AG167	3,166	5	184	60	PRESSEGUER	10303
AG168	1,859	3	184	68	PRESSEGUER	9167
AG169	11,5236	18	209	35	PERER	37508
AG170	1,4877	3	186	40	PRESSEGUER	8137
AG171	3,2666	5	190	59	OLIVERA	3079
AG172	3,0194	5	196	42	PRESSEGUER	18076
AG173	3,225	5	196	49	PRESSEGUER	14961
AG174	0,804	3	198	38	PRESSEGUER	0
AG175	0,3766	3	212	35	NO	0
AG177	1,791	3	189	59	OLIVERA	755
AG240	4,0697	7	200	53	PRESSEGUER	9315
AG242-2	7,7149	12	198	54	ORDI	33152
AG252	4,8685	8	190	72	OLIVERA	9355
AG252-bis	5,5211	9	192	72	PRESSEGUER	14497
AG253	4,9021	8	198	47	PRESSEGUER	26658
AG255	4,1877	7	222	35	PRESSEGUER	69
AG256	0,451	3	214	35	PRESSEGUER	0
AG257	5,2931	8	194	69	PRESSEGUER	32132
AG258	2,859	5	190	69	PRESSEGUER	0
AG303	5,7702	9	200	65	PRESSEGUER	21086
AG304	1,3249	3	200	65	NO	0
AG305	5,111	8	226	41	AMETLLER	11588
AG305-Bis	10,425	16	226	41	PRESSEGUER	33807

HIDRANT	SUPERFICIE (ha)	Cabal (l/s)	Cota (m)	Pressió requerida (mca)	CULTIU	CONSUM 2008 (m ³)
AG306	7,178	11	226	47	PRESSEGUER	40219
AG307	5,2528	8	204	64	PRESSEGUER	21619
AG308	2,8793	5	204	64	PRESSEGUER	0
AG309	5,0752	8	198	43	PRESSEGUER	21789
AG310	3,7365	6	206	61	PRESSEGUER	0
AG311	4,3	7	233	35	PRESSEGUER	14945
AG312	3,116	5	206	63	NO	0
AG313	5,4763	9	206	60	PRESSEGUER	20210
AG314	7,756	6	196	55	PRESSEGUER	390
AG315	4,6061	14	178	54	PERER	53335
AG328	1,8568	3	168	40	PRESSEGUER	0
AG329	5,4071	9	162	41	PERER	31532
AG338	11,5204	18	166	70	PRESSEGUER	56683
AG339	3,2673	5	171	58	NO	0
AG340	8,2684	13	172	72	PRESSEGUER	2547
	205,2					675542

Annex 3: Pressió requerida abans de l'hidrant i l'altura manomètrica requerida per les parcel·les

La pressió necessària abans de l'hidrant, s'ha extret del projecte de l'obra. Aquesta dada és el resultat de considerar una pressió mínima de 20 mca en el punt més desfavorable de la parcel·la en qüestió, unes pèrdues de càrrega en la distribució interior de la parcel·la de l'1%, la diferència de cota entre l'hidrant i el punt més alt de la parcel·la, una pèrdua de càrrega de 5 mca en la vàlvula hidràulica, una pèrdua de càrrega de 5 mca en el caça pedres i a més a més, s'ha afegit una pèrdua de càrrega de 5 mca de reserva addicional. En l'annex 2, hi figura la pressió necessària abans de l'hidrant així com la cota de l'hidrant per a cada parcel·la del sector "D".

Per obtenir l'altura manomètrica (Hm) necessària per a cada parcel·la, s'han agafat les pressions anteriors i s'hi ha sumat la diferència de cotes entre el punt de captació i l'hidrant i una pèrdua de càrrega de 9 mca entre ambdós (equació 25). Aquestes Hm es troben reflectides en l'annex 5 per a cada parcel·la. Mitjançant aquestes dades s'han trobat les freqüències relatives i acumulades de les altures manomètriques obtinguen la següent figura:

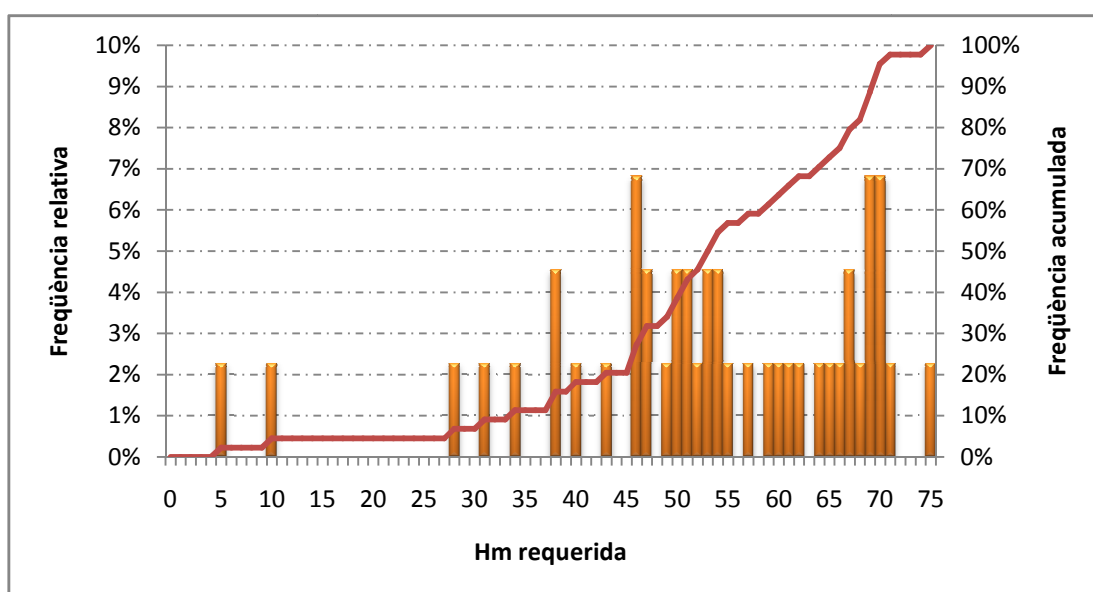


Fig. 29. Freqüència relativa i acumulada de Hm requerida en els hidrants del sector "D"

De la figura anterior s'observa que amb una pressió de 46 mca el 27% del hidrants tindrien la pressió necessària pel seu correcte funcionament, amb 53 mca el 50% i amb 66 el 75%.

Referent a les pressions seleccionades en la proposta 7.3, en la taula següent es mostra quina freqüència acumulada li correspon a cada una:

Taula 14. Freqüència acumulada de les pressions seleccionades en la proposta 7.3

Altura manomètrica (mca)	Freqüència acumulada
39	16 %
50	38 %
55	57 %
75	100 %

Annex 4: Corbes característiques de les bomba

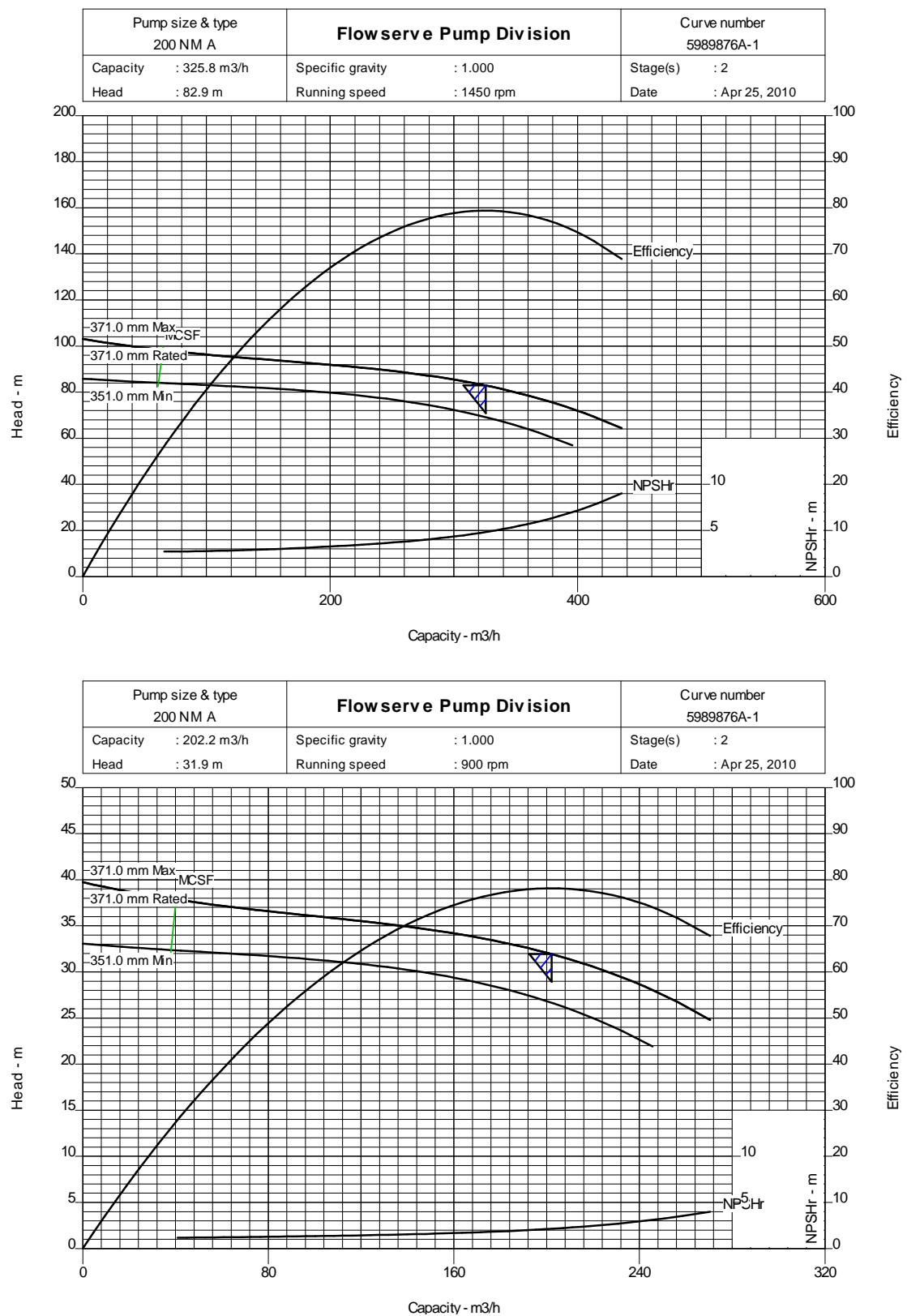


Fig. 30. Corbes característiques de les bombes a 1450 rpm i 900 rpm

Annex 5: Proposta de torns de reg

Alternativa 1

Taula 15. Proposta de torns de reg alternativa 1

HIDRANT	Hm requerida (mca)	CONSUM 2008 (m ³)	Hm alternativa 1 (mca)	Energia 2008 (kWh)	Energia alternativa 1 (kWh)	Torn
AG085	62	39260	75	13188,30	13188,30	B
AG086	60	0	75	0,00	0,00	B
AG087	57	0	75	0,00	0,00	B
AG166	53	48326	75	16233,77	16233,77	B
AG167	46	10303	50	3461,01	2307,34	A
AG168	54	9167	75	3079,40	3079,40	B
AG169	46	37508	50	12599,77	8399,84	A
AG170	28	8137	50	2733,40	1822,27	A
AG171	51	3079	75	1034,30	1034,30	B
AG172	40	18076	50	6072,13	4048,09	A
AG173	47	14961	50	5025,73	3350,49	A
AG174	38	0	50	0,00	0,00	A
AG175	49	0	50	0,00	0,00	A
AG177	50	755	50	253,62	169,08	A
AG240	55	9315	75	3129,11	3129,11	B
AG242-2	54	33152	75	11136,49	11136,49	B
AG252	64	9355	75	3142,55	3142,55	B
AG252-bis	66	14497	75	4869,86	4869,86	B
AG253	47	26658	50	8955,01	5970,01	A
AG255	59	69	75	23,18	23,18	B
AG256	51	0	75	0,00	0,00	B
AG257	65	32132	75	10793,85	10793,85	B
AG258	61	0	75	0,00	0,00	B

HIDRANT	Hm requerida (mca)	CONSUM 2008 (m ³)	Hm alternativa 1 (mca)	Energia 2008 (kWh)	Energia alternativa 1 (kWh)	Torn
AG305	69	11588	75	3892,67	3892,67	B
AG305-Bis	69	33807	75	11356,52	11356,52	B
AG306	75	40219	75	13510,45	13510,45	B
AG307	70	21619	75	7262,30	7262,30	B
AG308	70	0	75	0,00	0,00	B
AG309	43	21789	50	7319,41	4879,60	A
AG310	69	0	75	0,00	0,00	B
AG311	70	14945	75	5020,36	5020,36	B
AG312	71	0	75	0,00	0,00	B
AG313	68	20210	75	6788,99	6788,99	B
AG314	53	390	75	131,01	131,01	B
AG315	34	53335	50	17916,40	11944,27	A
AG328	10	0	50	0,00	0,00	A
AG329	5	31532	50	10592,30	7061,53	A
AG338	38	56683	50	19041,07	12694,05	A
AG339	31	0	50	0,00	0,00	A
AG340	46	2547	50	855,59	570,40	A
AG084	50	870	50	292,25	194,83	A
AG161	52	30172	75	10135,44	10135,44	B
AG303	67	21086	75	7083,25	7083,25	B
AG304	67	0	75	0,00	0,00	B
				226929,48	195223,59	

Alternativa 2

Taula 16 Proposta de torns de reg alternativa 2

HIDRANT	Hm requerida (mca)	CONSUM 2008 (m ³)	Hm alternativa 2 (mca)	Energia 2008 (kWh)	Energia alternativa 2 (kWh)	Torn
AG085	62	39260	75	13188,30	13188,30	C
AG086	60	0	75	0,00	0,00	C
AG087	57	0	75	0,00	0,00	C
AG166	53	48326	55	16233,77	11904,77	B
AG167	46	10303	55	3461,01	2538,07	B
AG168	54	9167	55	3079,40	2258,23	B
AG169	46	37508	55	12599,77	9239,83	B
AG170	28	8137	39	2733,40	1421,37	A
AG171	51	3079	55	1034,30	758,49	B
AG172	40	18076	55	6072,13	4452,89	B
AG173	47	14961	55	5025,73	3685,54	B
AG174	38	0	39	0,00	0,00	A
AG175	49	0	55	0,00	0,00	B
AG177	50	755	55	253,62	185,99	B
AG240	55	9315	55	3129,11	2294,68	B
AG242-2	54	33152	55	11136,49	8166,76	B
AG252	64	9355	75	3142,55	3142,55	C
AG252-bis	66	14497	75	4869,86	4869,86	C
AG253	47	26658	55	8955,01	6567,01	B
AG255	59	69	75	23,18	23,18	C
AG256	51	0	55	0,00	0,00	B
AG257	65	32132	75	10793,85	10793,85	C
AG258	61	0	75	0,00	0,00	C
AG305	69	11588	75	3892,67	3892,67	C
AG305-Bis	69	33807	75	11356,52	11356,52	C
AG306	75	40219	75	13510,45	13510,45	C

HIDRANT	Hm requerida (mca)	CONSUM 2008 (m ³)	Hm alternativa 2 (mca)	Energia 2008 (kWh)	Energia alternativa 2 (kWh)	Torn
AG307	70	21619	75	7262,30	7262,30	C
AG308	70	0	75	0,00	0,00	C
AG309	43	21789	55	7319,41	5367,56	B
AG310	69	0	75	0,00	0,00	C
AG311	70	14945	75	5020,36	5020,36	C
AG312	71	0	75	0,00	0,00	C
AG313	68	20210	75	6788,99	6788,99	C
AG314	53	390	55	131,01	96,07	B
AG315	34	53335	39	17916,40	9316,53	A
AG328	10	0	39	0,00	0,00	A
AG329	5	31532	39	10592,30	5507,99	A
AG338	38	56683	39	19041,07	9901,36	A
AG339	31	0	39	0,00	0,00	A
AG340	46	2547	55	855,59	627,44	B
AG084	50	870	55	292,25	214,32	B
AG161	52	30172	55	10135,44	7432,66	B
AG303	67	21086	75	7083,25	7083,25	C
AG304	67	0	75	0,00	0,00	C
				226929,48	178869,82	

Annex 6: Metodologia utilitzada en la proposta 4 per estimar la pressió de consigna

Per tal de calcular els efectes d'aquesta mesura s'ha considerat 10 grups amb diferents percentatges d'hidrants oberts (10%, 20%, 30%, 40 % ... 100 % dels hidrants oberts). Per a cada grup s'han fet 100 sortejos aleatoris, en els quals un (1) significaria hidrant obert i un (0) hidrant tancat. S'ha assignat una probabilitat d'obertura de cada hidrant igual al percentatge d'hidrants oberts del grup, per exemple en el grup del 30% dels hidrants oberts s'ha assignat una probabilitat d'obertura de l'hidrant (1) de 0,3 i d'estar tancat (0) del 0,7. Una vegada determinats els hidrants oberts s'ha buscat la Hm més exigent de tots els hidrants oberts d'un sorteig.

Taula 17. Metodologia utilitzada per estimar la pressió de consigna

Grup X %							
Hidrant	H ₀	Sorteig 1		Sorteig n		Sorteig 100	
1	H _{0 1}	0 / 1	0 o H _{0 1}	0/1	0 o H _{0 1}	0/1	0 o H _{0 1}
2	H _{0 2}	0 / 1	0 o H _{0 2}	0/1	0 o H _{0 2}	0/1	0 o H _{0 2}
3	H _{0 3}	0 / 1	0 o H _{0 3}	0/1	0 o H _{0 3}	0/1	0 o H _{0 3}
...	H _{0 ...}	0 / 1	0 o H _{0 ...}	0/1	0 o H _{0 ...}	0/1	0 o H _{0 ...}
44	H _{0 44}	0 / 1	0 o H _{0 44}	0/1	0 o H _{0 44}	0/1	0 o H _{0 44}
			H_{0 màx. 1}			H_{0 màx. n}	H_{0 màx. 100}

D'aquesta manera s'ha obtingut cent altures manomètriques màximes per a cada grup de les quals s'ha extret una Hm mitjana de cada un, taula 18.

Taula 18 Altura manomètrica assignada a cada grup

Grup	Hidrants oberts en el sorteig	H ₀ màx. mitja
0	0,0000	0
10	0,0920	64,89
20	0,1918	69,69
30	0,3005	71,68
40	0,4052	72,27
50	0,4907	72,47
60	0,6077	73,21
70	0,7011	73,99
80	0,8018	74,2
90	0,8957	74,6
100	1,0000	75

Tot seguit s'ha sumat tots els cabals dels hidrants operatius l'any 2008 i el resultat ha estat de 288 l/s, dada que equivaldria a dir que els 100% dels hidrants estan oberts. Aquest 288 l/s s'han dividit en 10 intervals de 28,8 l/s i mitjançant les lectures de la campanya 2008 enregistrades cada 10 minuts i s'ha calculat la freqüència de cada interval per aquest any, tal i com es mostra en la següent taula:

Taula 19. Freqüència relativa de cada grup

Interval (l/s)		Hidrants oberts	Freqüència
0		0%	0,00545
0	28,8	10%	0,02389
28,8	57,6	20%	0,09905
57,6	86,4	30%	0,15785

86,4	115,2	40%	0,19671
115,2	144	50%	0,25133
144	172,8	60%	0,17212
172,8	201,6	70%	0,07701
201,6	230,4	80%	0,01659
230,4	259,2	90%	0,00000
259,2	288	100%	0,00000

Finalment s'ha estimat el volum consumit per a cada grup ponderant el volum total d'aigua consumida en el sector "D" per la freqüència en què es dona cada grup i mitjançant la fórmula 34 s'ha trobat l'energia corresponent a cada grup, taula 20.

Taula 20. Energia consumida per a cada grup

Grup	Freqüència	Volum (m³)	H ₀ màx. Mitja (mca)	Energia (kWh)
0	0,00545	3814,99	0,00	0,00
10	0,02389	16722,95	64,89	4858,60
20	0,09905	69334,80	69,69	21634,24
30	0,15785	110494,68	71,68	35461,69
40	0,19671	137696,61	72,27	44555,50
50	0,25133	175930,50	72,47	57084,66
60	0,17212	120483,66	73,21	39492,86
70	0,07701	53906,85	73,99	17858,17
80	0,01659	11612,97	74,20	3858,04
90	0,00000	0,00	74,60	0,00
100	0,00000	0,00	75,00	0,00
				224803,75

Annex 7: Sondejos

SONDEIG S-1.

COTA(m.)	GRUX(m.)	SÍMBOL	DESCRIPCIÓ LITOLÒGICA
0	2,80		QUATERNARI: Sòl (30cm.), crosta calcària (30 cm. o més) i conglomerats de grava calcària. <u>Mostra S1-M1 de 1,00 a 2,80 m.</u>
1			
2			
2,80	7,30		TERCIARI: Lutites vermelles i marró clar. <u>Mostra S1-M2 de 2,80 a 5,00 m.</u>
3			
4			
5	1,00		Gresos tanques de gris fi i color gris.
6	1,00		Lutites vermelles amb petits nivells de gresos.
7	3,00		Lutites ocre i marró. <u>Mostra S1-M3 de 8,00 a 11,00 m.</u>
8			
9			
10	1,00		Lutites marró clar amb petits nivells de gresos.
11	1,80		Lutites ocre amb intercalació d'un petit nivell de lutites vermelles.
12			
13			

SONDEIG S-2.

COTA(m.)	GRUX(m.)	SÍMBOL	DESCRIPCIÓ LITOLÒGICA
0	6,20		QUATERNARI: Sòl (30cm.), crosta calcària (30cm. o més) i conglomerats de grava calcària. <u>Mostra S2-M1 de 1,00 a 4,20 m.</u>
1			
2			
3	7,00		TERCIARI: Lutites marró clar amb petits nivells de gresos. <u>Mostra S2-M2 de 7,00 a 9,00 m.</u>
4			
5			
6	1,00		Lutites sorrenques.
7			
8			
9	1,00		Lutites marró.
10			
11			
12	1,00		Lutites marró clar amb intercalació d'un petit nivell de lutites vermelles i de petits nivells de gresos. <u>Mostra S2-M3 de 11,00 a 12,00 m.</u>
13			
14			

SONDEIG S-3.

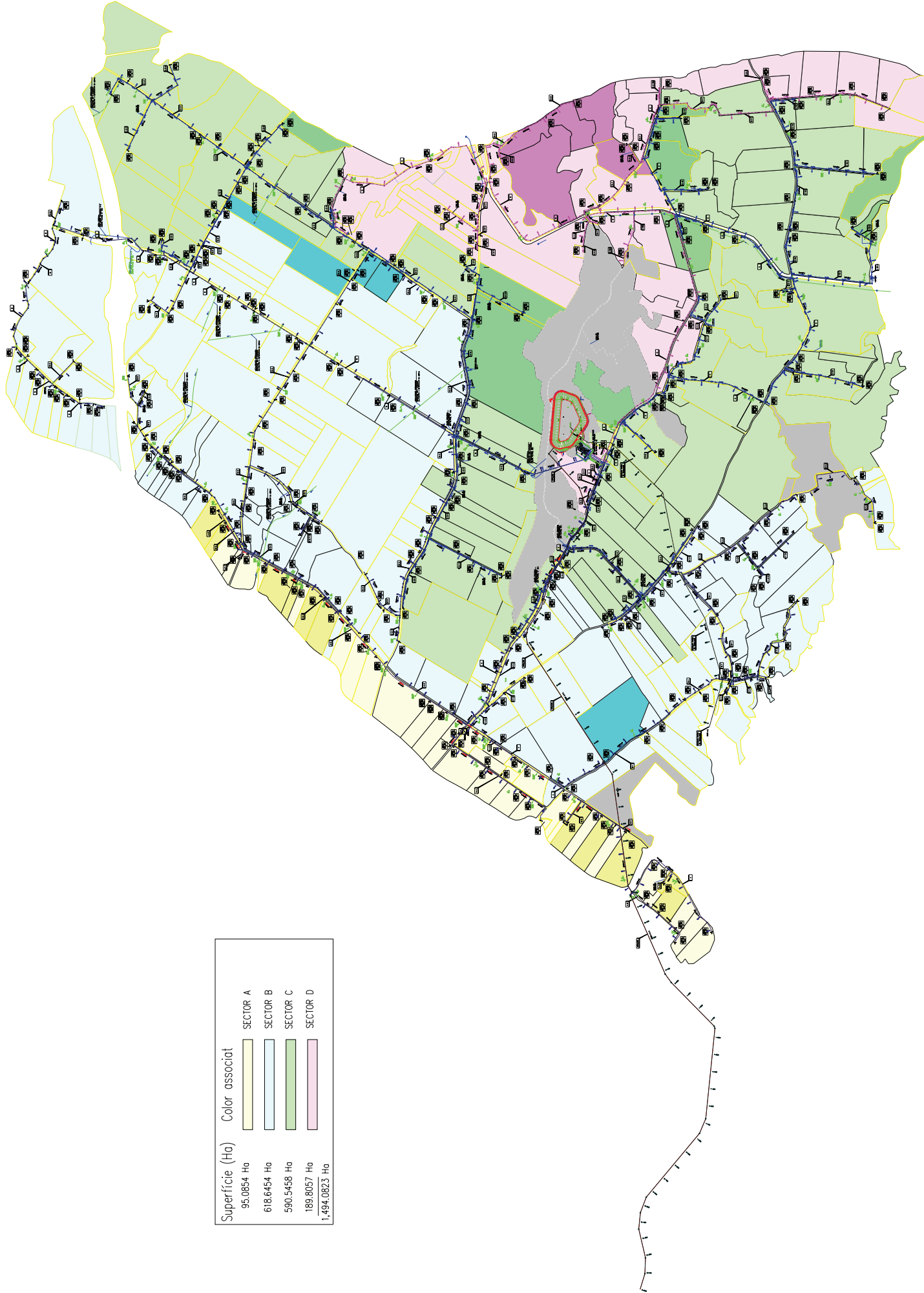
COTA(m.)	GRUX(m.)	SÍMBOL	DESCRIPCIÓ LITOLÒGICA
0	4,00		QUATERNARI: Sòl (30 cm.), crosta calcària (30 cm. o més) i conglomerats de grava calcària i algun nivell de sorres. <u>Mostra S3-M1 de 1,00 a 4,00 m.</u>
1			
2			
3	1,00		TERCIARI: Lutites vermelles. <u>Mostra S3-M2 de 4,00 a 5,00 m.</u>
4			
5			
6	7,00		Lutites vermelles marró clar amb petits nivells de gresos. <u>Mostra S3-M3 de 5,00 a 7,00 m.</u>
7			
8			
9	2,00		Lutites ocre amb petits nivells de gresos.
10			
11			
12	5,80		Lutites marró amb intercalació d'un petit nivell de lutites vermelles i de petits nivells de gresos. <u>Mostra S3-M4 de 10,00 a 12,00 m.</u>
13			
14			

SONDEIG S-4.

COTA(m.)	GRUX(m.)	SÍMBOL	DESCRIPCIÓ LITOLÒGICA
0	2,60		QUATERNARI: Sòl (30cm.), crosta calcària (30 cm. o més) i conglomerats de grava calcària.
1			
2			
3	1,40		TERCIARI: Lutites vermelles i marró clar.
4			
5			
6	2,00		Lutites marró fosc. <u>Mostra S4-M3 de 4,00 a 6,00.</u>
7			
8			
9	1,00		Gresos ocre. <u>Mostra S4-M1 de 6,00 a 7,00.</u>
10			
11			
12	2,00		Lutites sorrenques marró fosc.
13			
14			
15	1,00		Lutites ocre amb nivells de margues.
16			
17			
18	0,50		Gresos de color gris.
19			
20			
21	0,50		Lutites marró fosc.
22			
23			
24	1,80		Lutites vermelles amb nivells de margues. <u>Mostra S4-M2 de 10,00 a 12,00.</u>
25			
26			

Fig. 31 Sondejos de la Serra de Carrassumada

PLÀNOLS



Superfície (Ha)	Color associat
95.0854 Ha	SECTOR A
618.6454 Ha	SECTOR B
590.5458 Ha	SECTOR C
189.8057 Ha	SECTOR D
1.494.0823 Ha	

BIBLIOGRAFIA

- Abadía Sánchez, R., Rocamora Osorio, M.C.; Vera Morales, J., Ruiz Canales, A., Puerto Molina, H., Cámara Zapata, J.M., Melián Navarro, A., Andréu Rodríguez, J. *Mejora de la eficiencia de suministro energético en redes de distribución de comunidades de regantes*. XXVI Congreso Nacional de Riegos. Huesca 24-26 de juny del 2008.
- Bescós Capuj, M., Cameo Moreno, D., Castillo López, R., Citoler Herbera, J., Santafé Laplaza, L.J. *Establecimiento de pisos de bombeo directo en redes colectivas de riego a presión*. XXVI Congreso Nacional de Riegos. Huesca 24-26 de juny del 2008.
- Blanco Pérez, M., Camacho Poyato, E., Rodríguez Díaz, J. *Análisis de la eficiencia energética en el uso el agua de riego en comunidades de regantes de Andalucía*. XXVII Congreso Nacional de Riegos. Murcia 16-18 de juny del 2009.
- Cabañas, M. 2007. *Análisis y uso del agua en la estación de bombeo y red de riego de los campos de prácticas de la ETSI agrónomos*. Treball final de carrera. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid
- Cabrera, E; Espert, V; García-Serra, J; Martinez, F. *Ingeniería Hidráulica. Aplicaciones a los sistemas de distribución de Agua*. UD Mecánica de Fluidos. UPValencia, (1996).
- Carrillo Cobo, M.T., Rodríguez Díaz, J. A., Camacho Poyato, E. *Eficiencia energética en la comunidad de regantes de Fuente Palmera*. XXVII Congreso Nacional de Riegos. Murcia 16-18 de juny del 2009.
- FENACORE, SERINA, IDAE, Universidad Miguel Hernández. Abril 2010. *Curso de gestor energético de comunidades de regantes*.
- García, S., Aliod, R., Paño, J., Marzal, A., Prat, R., López-Cortijo, I., Esquiroz J.C., Ederra I. *Aplicación de las nuevas herramientas implementadas en gestar 2008 para la evaluación fiable de la regulación y los costes energéticos en estaciones de bombeo directo*. XXVI Congreso Nacional de Riegos. Huesca 24-26 de juny del 2008.
- Generalitat de Catalunya, Institut Català d'Energia. Juny 2007. *Estudi d'avaluació energètica a explotacions agràries. Carrassumda, dades corresponents a l'any 2006*
- IDAE. 2005. *Ahorro y Eficiencia Energética en Agricultura de Regadío*. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Madrid.

- IDAE. 2005. *Consumos energéticos en las operaciones agrícolas en España*. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Madrid.
- IDAE. 2008. *Ahorro y Eficiencia Energética en las Comunidades de Regantes*. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Madrid.
- IDAE. 2008. *Protocolo de Auditoría Energética en Comunidades de Regantes*. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Madrid.
- Regs de Catalunya. Febrer 2001. *Projecte modificat núm. 1 de transformació en regadiu de la concentració parcel·lària de Torres de Segre*.
- Regs de Catalunya. Juliol 2003. *Projecte de transformació en regadiu de la zona de concentració parcel·lària de torres de Segre. Estat de dimensions i característiques de l'obra executada*.

